

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ВЫСШАЯ ШКОЛА МЕНЕДЖМЕНТА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ  
ГРУЗОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК  
В СИСТЕМЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ  
ОАО «РЖД»**

Выпускная квалификационная работа  
студентки 4 курса программы бакалавриата  
по направлению «Менеджмент»  
профиль - Логистика  
**САХАНОВОЙ Марии Антоновны**

---

Научный руководитель  
к.ф.-м.н., старший преподаватель  
ЗЯТЧИН Андрей Васильевич

---

**«СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ»**

---

*(подпись научного руководителя)*

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Санкт-Петербург

2017

## **ЗАЯВЛЕНИЕ О САМОСТОЯТЕЛЬНОМ ВЫПОЛНЕНИИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Я, Саханова Мария Антоновна, студентка 4 курса направления 080200 «Менеджмент» (профиль подготовки – Логистика), заявляю, что в моей выпускной квалификационной работе на тему «Совершенствование методов планирования грузовых железнодорожных перевозок в системе мультимодальной транспортировки грузов ОАО «РЖД», представленной в службу обеспечения программ бакалавриата для последующей передачи в государственную аттестационную комиссию для публичной защиты, не содержится элементов плагиата. Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищённых ранее курсовых и выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Мне известно содержание п. 9.7.1 Правил обучения по основным образовательным программам высшего и среднего профессионального образования в СПбГУ о том, что «ВКР выполняется индивидуально каждым студентом под руководством назначенного ему научного руководителя», и п. 51 Устава федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» о том, что «студент подлежит отчислению из Санкт-Петербургского университета за представление курсовой или выпускной квалификационной работы, выполненной другим лицом (лицами)».

\_\_\_\_\_ (Подпись студента)

\_\_\_\_\_ (Дата)

## Оглавление

Введение .....	5
Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПАНИИ ОАО «РЖД».....	8
1.1 История компании .....	8
1.2 Структура холдинга ОАО «РЖД».....	9
1.3 PEST – анализ отрасли грузовых перевозок .....	10
1.3.1. Политические факторы .....	11
1.3.2 Экономические факторы.....	12
1.3.3 Социальные факторы .....	14
1.3.4 Технологические факторы .....	14
1.3.5 Вывод по PEST – анализу отрасли грузовых перевозок.....	15
1.4 Анализ конкуренции в отрасли .....	15
1.5 SWOT-анализ ОАО «РЖД» в направлении грузовых перевозок .....	17
1.5.1 Сильные стороны.....	17
1.5.2. Слабые стороны .....	18
1.5.3. Возможности .....	19
1.5.4. Угрозы.....	20
1.5.5. Выводы по SWOT-анализу ОАО «РЖД» .....	20
1.6 Описание бизнес-процессов и грузовой базы ОАО «РЖД».....	21
1.7 Выводы по Главе 1 .....	23
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК.....	25
2.1 Обзор научных исследований мультимодальных перевозок .....	25
2.2 Концепция «сухих портов».....	27
2.2.1 Описание концепции «сухих портов» .....	28
2.2.2 Жизненный цикл «сухих портов» .....	30
2.2.3 «Сухие порты» ОАО «РЖД» .....	32
2.3 Математическая модель построения оптимального плана погрузки .....	33

2.4 Направления для разработки метода координации потока вагонов .....	36
2.4 Выводы по Главе 2.....	37
ГЛАВА 3. МЕТОДЫ КООРДИНАЦИИ ГРУЗОПОТОКОВ В АДРЕС ПОРТОВ ....	39
3.1 Разработка Алгоритма-1 координации потоков .....	39
3.2 Применение Алгоритма-1 координации потоков.....	42
3.3.1 Результаты применения Алгоритма-1 координации потоков .....	42
3.3.2 Анализ на чувствительность.....	44
3.4 Направления для разработки Алгоритма-2 координации потоков.....	46
3.5 Разработка Алгоритма-2 координации потоков .....	47
3.6 Применение Алгоритма-2 координации потоков.....	50
3.6.1 Описание условий применения Алгоритма-2 координации потоков.....	50
3.6.2 Результаты тестирования Алгоритма-2 координации потоков.....	53
3.7. Выводы и практические рекомендации.....	55
Заключение.....	58
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....	69

## Введение

На сегодняшний день ОАО «РЖД» является крупнейшим железнодорожным перевозчиком на территории РФ и играет одну из ключевых ролей в экономическом развитии страны. Железная дорога – уникальный способ транспортировки грузов, который позволяет перемещать грузы на большие расстояния, что особенно актуально ввиду размеров Российской Федерации. Более того, транспортировка железнодорожным транспортом на дальние расстояния имеет невысокую себестоимость сравнительно с главным конкурентом железнодорожных перевозчиков – автомобильным транспортом.

Однако существует ряд факторов, которые осложняют процесс координации грузовых потоков для железнодорожного транспорта. Во-первых, это масштабы железнодорожной инфраструктуры – протяжённость железных дорог Российской Федерации занимает третье место в мире. Во-вторых, в настоящий момент происходит перераспределение грузопотоков, вызванное рядом политических и экономических факторов. В-третьих, процесс перемещения грузов по железнодорожной сети включает большое количество агентов, у каждого из которых есть не только определённые обязанности, но и интересы, которые они стремятся удовлетворить.

В последнее время на рынке грузовых перевозок растёт стратегическая значимость таких факторов как скорость и гибкость. Для обеспечения необходимой гибкости для потребителя услуг грузоперевозок, игроки постепенно переходят на осуществление мультимодальных перевозок. В настоящей работе изучается взаимодействие двух участников мультимодальной перевозки типа «железная дорога – море».

На сегодняшний день методы планирования отгрузок в направлении портов и координации потока грузов, используемые ОАО «РЖД», приводят к большому скоплению вагонов на припортовых станциях, которые не могут быть вовремя переработаны мощностями порта. Такое скопление может быть вызвано как неэффективным планированием объёмов поставок в адрес портов, так и недостатком координации грузовых потоков в случае их отклонения от нормативных сроков поставки. Последствием скопления вагонов выступают штрафы, который грузоперевозчик – ОАО «РЖД» - платит за несвоевременную поставку.

С теоретической точки зрения актуальность работы подтверждается растущим интересом научного сообщества к проблеме планирования, выполнения и контроля материальных потоков в цепях поставок<sup>1</sup>. С практической точки существует

---

<sup>1</sup> Kehoe D.F.. New paradigms in planning and control across manufacturing supply chains: utilisation of Internet technologies / Kehoe D.F.,mN.J. Boughton // International Journal of Operations & Production Management – 2001. – V. 21 (5/6) – P. 582-593

необходимость снижения штрафов при организации грузовых железнодорожных перевозок в адрес портов.

Целью настоящей работы является разработка методики и практических рекомендаций по управлению продвижением потоков вагонов на припортовые станции для ОАО «РЖД». Для достижения цели исследования, автором были выделены следующие задачи:

- Построить модель существующего процесса планирования грузопотоков в направлении портов
- Предложить алгоритм координации потоков в условиях несвоевременной поставки грузов на припортовые станции
- Провести тестирование алгоритма с использованием метода имитационного моделирования
- Разработать практические рекомендации решения управленческой задачи

Предметом исследования выступают методы планирования и координации грузовых потоков в адрес портов. Объектом исследования является ОАО «Российские железные дороги».

В качестве источников информации были использованы информационные базы ОАО «РЖД», информационные и реферативные базы данных SCOPUS, Web of Knowledge, Elsevier, Springer. Данные, использованные для тестирования разработанных моделей, были предоставлены ОАО «РЖД» и изменены в целях сохранения коммерческой тайны. Для анализа внутренней и внешней среды компании были использованы такие методы как SWOT-анализ и PEST-анализ. В качестве методов для разработки методики автором использованы методы линейного программирования и имитационного моделирования.

Настоящая работа состоит из трёх глав. В первой главе описана деятельность компании, её структура и основные бизнес-процессы, связанные с планированием объёмов грузовых потоков в адрес портов. В результате первой главы сформулирована исследуемая управленческая задача. Также в первой главе проведён анализ внешней среды ОАО «РЖД», результаты которого подчёркивают необходимость решения исследуемой задачи. Во второй главе проведён анализ научной литературы, в которой рассматриваются различные проблемы, возникающие при мультимодальных перевозках, и предложены практические рекомендации для их решения. Также во второй главе представлена математическая модель оптимизации плана погрузки в адрес портов, разработанная автором в ранней работе. В результате второй главы определена

необходимость в предложении методов координации грузовых потоков в направлении портов с учётом возможных отклонений от нормативных сроков поставки, и выделены направления их разработки. В третьей главе автором представлен результат разработки алгоритмов координации грузовых потоков с учётом случайных отклонений в объёмах поставляемых вагонов и в сроках поставки, а также проведено тестирование с использованием имитационной модели, подтверждающее применимость представленных алгоритмов. На основе полученных результатов сформулированы практические рекомендации для ОАО «РЖД» с целью улучшения координации потока вагонов в направлении портов.

# Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПАНИИ ОАО «РЖД»

## 1.1 История компании

Развитие железнодорожных путей на территории нашей страны имеет богатую историю. Первые упоминания о колейных дорогах относятся к XVI в. – в качестве рельсов в местах разработки камня, а также в угольных шахтах и рудниках использовались деревянные брусья. Позднее, в XVIII – XIX вв. началось бурное развитие не только железнодорожного строительства, но и науки о железнодорожном пути. Постепенно вся территория страны объединялась железнодорожной сетью, это было обусловлено как экономическими потребностями страны, так и военными мотивами государства. По мере увеличения площади покрытия сетью железных дорог образовывалась потребность в создании железнодорожного законодательства, которое положило своё начало в конце XIX в.

Важным событием в развитии железнодорожной инфраструктуры стала реформа железнодорожной отрасли в начале 2000-х. Поводом для проведения реформы стала отрицательная рентабельность железнодорожных перевозок и публичная критика министерства путей и сообщений РФ. В результате реформы в октябре 2003 года образовалось акционерное общество ОАО «РЖД» со 100-процентным участием государства, которому были переданы все хозяйственные функции на железной дороге. В программе структурной реформы железнодорожного транспорта планировалась передача большей части (более 50%) грузового парка в частную собственность к концу 2010 года, что способствовало бы развитию конкуренции на рынке грузовых перевозок. Помимо грузового транспорта, в Программу реформы входило совместное с субъектами Российской Федерации создание пригородных пассажирских компаний с последующим их выводом на безубыточную деятельность.<sup>2</sup>

На сегодняшний день ОАО «РЖД» входит в мировую тройку крупнейших железнодорожных компаний – общая длина железных дорог составляет 121 тыс. км., (уступает только США и Китаю), эксплуатационная протяжённость железнодорожных путей – 85, 3 тыс. км. (на 2-м месте после Китая). ОАО «РЖД» является вертикально интегрированной компанией, выполняя функции владельца инфраструктуры общего пользования, а также большей части подвижного состава. Кроме того, компания является крупнейшим оператором железнодорожной сети РФ.

---

<sup>2</sup> Российские железные дороги [Электронный ресурс] // Википедия: Свободная энциклопедия. – Режим доступа: [en.wikipedia.org/wiki/Rail\\_transport\\_in\\_Russia](http://en.wikipedia.org/wiki/Rail_transport_in_Russia) (дата обращения: 07.04.2017).



Фокус стратегии развития холдинга ОАО «РЖД» направлен на постоянное увеличение масштабов транспортного бизнеса, которое бы позволяло обеспечивать производственную и экономическую эффективность. Одной из составляющих цели увеличения масштаба является способность к глубокой интеграции в евро-азиатскую транспортную систему. В целом, помимо увеличения мощностей, деятельность компании направлена на повышение уровня безопасности пассажирских и грузовых перевозок, а также обеспечение финансовой устойчивости холдинга.<sup>3</sup>

## **1.2 Структура холдинга ОАО «РЖД»**

ОАО «РЖД» осуществляет свою деятельность в двух главных направлениях: пассажирские и грузовые перевозки. Пассажирские перевозки осуществляются как в пригородном, так и в дальнем сообщении. Общая доля ОАО «РЖД» в пассажирообороте транспортной системе России составляет 26,4%.<sup>4</sup>

Структура управления пассажирскими перевозками состоит из 3-х элементов:

- Департамент управления бизнес-блоком «Пассажирские перевозки»
- Федеральная пассажирская компания
- Центральная пригородная пассажирская компания

В направлении грузовых перевозок помимо перемещения грузов, компания также предоставляет услуги железнодорожной инфраструктуры и локомотивной тяги. Холдинг ОАО «РЖД» принимает участие в формировании инфраструктуры железнодорожных путей, осуществляя строительство новых объектов. Более того, в перечень услуг, предлагаемых компанией также входит ремонт подвижного состава.

Осуществление грузовых перевозок проходит на базе Центрального Фирменного Транспортного Обслуживания (ЦФТО) – филиала ОАО «РЖД». ЦФТО выступает агентом на всей цепочке предоставления услуг: взаимодействует с грузоотправителями и грузополучателями в процессе формирования заявки и исполнении заказов на перевозку грузов, координирует договорную работу с экспедиторскими организациями, собственниками железнодорожного подвижного состава и другими участниками цепочки предоставления транспортных услуг.

---

<sup>3</sup> Официальный сайт «РЖД» [Электронный ресурс]. – М.: ОАО «РЖД», 2017 -. – Режим доступа: <http://rzd.ru/>, свободный. – Загл. с экрана

<sup>4</sup> Официальный сайт «РЖД» [Электронный ресурс]. – М.: ОАО «РЖД», 2017 -. – Режим доступа: <http://rzd.ru/>, свободный. – Загл. с экрана

В целом, в деятельность ЦФТО входит следующий перечень услуг:

- Координирование и осуществление транспортировки грузов
- Предоставление для использования инфраструктуры железнодорожных путей общего пользования с целью осуществления перевозки грузов
- Информационная поддержка
- Продажа и аренда железнодорожного подвижного состава
- Осуществление договорной работы с экспедиторскими организациями, а также другими владельцами инфраструктур

Организационная структура ЦФТО состоит из трёх уровней<sup>5</sup>:

- Центр фирменного транспортного обслуживания – центральный орган Системы фирменного транспортного обслуживания, координирующий управление деятельностью структуры.
- Территориальные центры фирменного транспортного обслуживания – подразделения Системы ФТО, которые занимаются организацией сбыта транспортных услуг в пределах железной дороги.
- Региональные и линейные агентства ФТО – подразделения, ответственные за непосредственное взаимодействие с клиентами. Могут располагаться на местах зарождения потока грузов, железнодорожных станциях или на отделениях железных дорог.

### 1.3 PEST – анализ отрасли грузовых перевозок

Таблица 1 PEST –анализ отрасли грузовых перевозок

<b>Р - Политические</b>	<b>Е - Экономические</b>
Введение взаимных санкций РФ со странами Евросоюза Увеличение сотрудничества с Китаем	Рост тарифов на грузовые перевозки Нестабильный уровень промышленного производства Нестабильность объёмов экспорта и импорта Введение системы «Платон»
<b>S - Социальные</b>	<b>T - Технологические</b>
Изменение предпочтений грузоотправителей	Вывод на рынок беспилотных передвижных средств

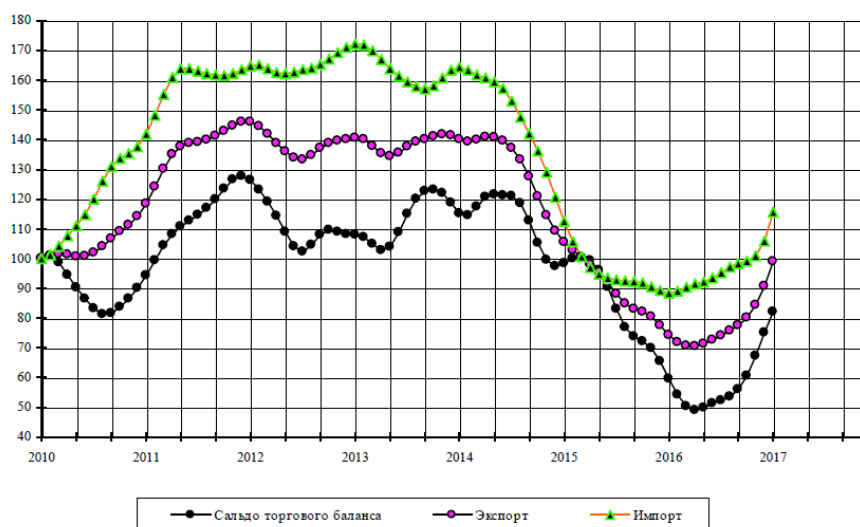
[Составлено автором по указанным источникам]

<sup>5</sup> Официальный сайт «РЖД» [Электронный ресурс]. – М.: ОАО «РЖД», 2016 -. – Режим доступа: <http://rzd.ru/>, свободный. – Загл. с экрана

### 1.3.1. Политические факторы

#### *Введение взаимных санкций РФ со странами Евросоюза*

Одним из наиболее существенных факторов, который оказал негативное воздействие на рынок транспортно-логистических услуг на территории Российской Федерации, является внедрение взаимных санкций со странами Европейского Союза. В первую очередь, это повлекло за собой изменение объёмов международных грузопотоков – начался систематический спад объёмов экспорта (с мая 2014 года) и импорта (с февраля 2014 года). Тем не менее, во второй половине 2016 года наблюдалась положительная динамика изменения объёмов экспорта и импорта, что проиллюстрировано на Рисунке 1.<sup>6</sup>



**Рисунок 1** Динамика показателей внешней торговли в 2010 – 2017 гг. (в %к январю 2010 г.)

[Источник: Помесячная динамика экспорта и импорта товаров [Электронный ресурс] // Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики. – Режим доступа: [https://dcenter.hse.ru/data/2017/03/21/1170074710/exp\\_imp\\_17-01.pdf](https://dcenter.hse.ru/data/2017/03/21/1170074710/exp_imp_17-01.pdf) (дата обращения: 07.04.2017)]

Помимо снижения объёма грузопотоков, негативным эффектом внедрения санкций стало изменение инфраструктуры и географии международных перевозок, из-за чего происходит усложнение цепочки поставок, процесса их формирования и последующей координации.

<sup>6</sup> Помесячная динамика экспорта и импорта товаров [Электронный ресурс] // Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики. – Режим доступа: [https://dcenter.hse.ru/data/2017/03/21/1170074710/exp\\_imp\\_17-01.pdf](https://dcenter.hse.ru/data/2017/03/21/1170074710/exp_imp_17-01.pdf) (дата обращения: 07.04.2017)

### ***Увеличение сотрудничества с Китаем***

Одним из направлений международных отношений РФ является поддержание и развитие российско-китайских экономических отношений. На данный момент между странами действует более 300 межправительственных договоров и соглашений, которые основываются на доверительном партнёрстве и стратегическом взаимодействии.<sup>7</sup> Таким образом, одним из трендов развития рынка транспортно-логистических услуг становится переадресация транспортно-логистических систем на страны Азии.

#### **1.3.2 Экономические факторы**

##### ***Рост тарифов на грузовые перевозки***

Тариф на грузовые перевозки для всех видов транспорта, кроме воздушного и морского, стабильно растёт в среднем на 7,5-10% в год.<sup>8</sup> Таким образом, одной из ключевых тенденций на рынке грузовых перевозок является работа над сокращением расходов. Одним из элементов такой работы является переориентация с генеральных на сборные грузы. В таком случае транспортировки отсутствует переплата за лишнее грузовое пространство. Более того, оплата перевозки таких грузов рассчитывается с учётом объёма и веса позиции, а услуги компании-перевозчика оплачиваются совместно с остальными заказчиками. Также большое количество средств экономится на погрузо-разгрузочных работах и временном складировании. Игроки на рынки ищут различные пути сокращения себестоимости перевозки единицы продукции с учётом тарификации, также внедряя разного рода инновации и оптимизируя логистические процессы.<sup>9</sup>

##### ***Нестабильный уровень промышленного производства***

Более того на развитие рынка грузовых перевозок негативно влияет сокращение уровня промышленного производства. Железная дорога выступает одним из главных способов транспортировки для промышленных производителей, так что игроки железнодорожной инфраструктуры сильно зависят от объёмов производства. В целом, в 2016 году наблюдалась положительная динамика индекса промышленного производства по отношению к предыдущему месяцу. В среднем прирост составлял 2-4%. Тем не менее,

---

<sup>7</sup> Российско-китайские экономические отношения. Досье. [Электронный ресурс] // Информационное агентство России «ТАСС». – Режим доступа: <http://tass.ru/info/1956459> (дата обращения: 07.04.2017).

<sup>8</sup> Индексы тарифов на грузовые перевозки [Электронный ресурс] Государственная статистика ЕМИСС. – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/31076> (дата обращения: 07.04.2017).

<sup>9</sup> Влияние санкций и рецессии на российский рынок логистических услуг [Электронный ресурс] // Информационное агентство «РЖД - партнёр». – Режим доступа: <http://www.rzd-partner.ru/logistics/news/vliianie-sanktsii-i-retsessii-na-rossiiskii-rynok-logisticheskikh-uslug/> (дата обращения: 07.04.2017).

по данным на январь 2017 года, объём промышленного производства на территории РФ упал более чем на 25% по отношению к прошлому году. Такая нестабильная ситуация с главным потребителем услуг железнодорожной грузовой перевозки негативно сказывается на процесс планирования и непосредственно осуществления перевозки его участниками.<sup>10</sup>

### ***Нестабильность объёмов экспорта и импорта***

Как уже было описано в пункте 3.1 Экономические факторы, на протяжении последних 3-х лет наблюдалась отрицательная динамика объёмов экспорта и импорта, что существенно повлияло на количество и объём грузовых перевозок игроками рынка. Тем не менее, со второй половины 2016 года тренд изменил своё направление: объёмы, как экспорта, так и импорта стали увеличиваться по сравнению с предыдущими периодами<sup>11</sup>.

### ***Введение системы «Платон»***

Ещё одним важным фактором, оказавшим влияние на рынок транспортно-логистических услуг стало введение новой системы взимания платы с грузовиков массой свыше 12 тонн «Платон» в ноябре 2015 года. «Платон» оказывает максимальное влияние на автомобильных грузоперевозчиков: после введения системы была повышена себестоимость грузоперевозок, из-за чего с рынка ушло значительное количество мелких игроков, что привело к дефициту транспортных средств.<sup>12</sup> Такие негативные последствия, могут привести к изменению рынка и переключению части грузоотправителей с автомобильных на железнодорожные перевозки. После введения системы «Платон» в ноябре 2015 года, через месяц – в декабре, объём железнодорожных перевозок вырос на 1%, хотя на протяжении предыдущих месяцев не превышал показатели предшествующего года.<sup>13</sup>

---

<sup>10</sup> Промышленное производство: индексы производства [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственного статистики. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial/#) (дата обращения: 07.04.2017)

<sup>11</sup> Помесячная динамика экспорта и импорта товаров [Электронный ресурс] // Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики. – Режим доступа: [https://dcenter.hse.ru/data/2017/03/21/1170074710/exp\\_imp\\_17-01.pdf](https://dcenter.hse.ru/data/2017/03/21/1170074710/exp_imp_17-01.pdf) (дата обращения: 07.04.2017)

<sup>12</sup> «Платон» идёт на повышение [Электронный ресурс] // Электронное периодическое издание «Ведомости». – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2016/12/13/669340-platon-idet> (дата обращения: 07.04.2017).

<sup>13</sup> Обзор рынка грузоперевозок – 2015: статистика и тенденции [Электронный ресурс] // Информационно-аналитическое сетевой издание «ПРОВОД». – Режим доступа: <http://xn--b1ae2adf4f.xn--p1ai/analytics/research/32406-obzop-pynka-gpuzopepevozok-2015-statistika-i-tendentsii.html> (дата обращения: 07.04.2017).

### **1.3.3 Социальные факторы**

#### ***Изменение предпочтений грузоотправителей***

На сегодняшний день отмечается увеличение потребности потребителей услуг грузовых перевозок в гибкости как в тарифном, так и во временном измерении. Грузоперевозчики заинтересованы в индивидуальном подходе к каждой перевозке и индивидуальном гибком тарифе. Сложность составляет предоставление гибкости участниками железнодорожных перевозок в плане быстрой доставки, из-за большого количества участников, вовлечённых в этот процесс, из-за сложностей, связанных с юридическим оформлением и формальной стороной вопроса, а также из-за ограниченной пропускной способности инфраструктуры железнодорожных путей. Более того, растёт потребность в осуществлении перевозки «От двери до двери», что, например, не может предложить железнодорожный перевозчик без перехода на мультимодальную перевозку, что в свою очередь усложняет логистические процессы.<sup>14</sup> По словам директора по развитию бизнеса ОАО «РЖД Логистика» Дениса Мазурина, востребованными так же становятся новые логистические продукты в области оказания услуг с высокой добавленной стоимостью, включая управленческую или контрактную логистики.<sup>15</sup>

### **1.3.4 Технологические факторы**

#### ***Вывод на рынок беспилотных передвижных средств***

В качестве новых технологий на рынке грузовых перевозок выступает потенциальный вывод на рынок беспилотных грузовиков. Несомненно, стремительный переход на такую новейшую технологию, как беспилотное передвижное средство, осуществить затруднительно. В большей части это касается инфраструктуры – в частности, дорог, по которым сегодня передвигаются грузовые автомобили. Качество дорог различается от региона к региону, поэтому внедрение такой технологии в масштабах всей страны – долгосрочные планы. Тем не менее, уже в 2018 году планируется ввод в эксплуатацию беспилотных грузовиков на дорогах Москвы и Санкт-Петербурга. В 2016-2018 гг. запланировано тестирование беспилотных «КАМАЗов» на трассе М11 Москва – Санкт-Петербург. Такая технология существенно снизит стоимость перевозки автомобильным транспортом, что сейчас является одним из главных критериев

---

<sup>14</sup> Regulatory reform of railways in Russia [Электронный ресурс] // International Transport Forum - OECS. – 2004. – Р. 17-27

<sup>15</sup> Влияние санкций и рецессии на российский рынок логистических услуг [Электронный ресурс] // Информационное агентство «РЖД - партнёр». – Режим доступа: <http://www.rzd-partner.ru/logistics/news/vliianie-sanktsii-i-retsessii-na-rossiiskii-rynok-logisticheskikh-uslug/> (дата обращения: 07.04.2017).

при выборе железнодорожного транспорта – относительно невысокая стоимость. Таким образом, в долгосрочной перспективе, введение беспилотных грузовиков – угроза для железнодорожного перевозчика.<sup>16</sup>

### **1.3.5 Вывод по PEST – анализу отрасли грузовых перевозок**

Таким образом, на деятельность ОАО «РЖД» в основном влияют политические и экономические факторы. Введение санкций существенно повлияло на грузовую базу и объём грузов, направляемых в страны Евросоюза. Многие грузы, которые идут в этом направлении, проходят через порты, соответственно, любые изменения, вызванные политическими или экономическими факторами, влияют не только на ОАО «РЖД» как грузоперевозчика, но и на отношения «железная дорога – порт». Также на отношения типа «железная дорога – порт» оказывает влияние увеличение взаимодействия с Китаем и нестабильное промышленное производство. Результатом такого влияния для грузоперевозчиков стало перераспределение потоков грузов.

В меньшей степени оказывают влияния социальные и технологические факторы. Тем не менее, потребность заказчика получать доставку «От двери до двери» обязывает железнодорожных перевозчиков переключаться на мультимодальную перевозку, кооперируясь с автомобильным транспортом. Такой технологический фактор как внедрение беспилотных грузовиков, несомненно, повлияет на развитие железнодорожных грузовых перевозок, но в долгосрочной перспективе, сейчас существенной угрозы не наблюдается.

## **1.4 Анализ конкуренции в отрасли**

Железная дорога конкурирует с двумя основными видами транспорта, осуществляющими грузовые перевозки: трубопровод и автомобильный транспорт. Тем не менее, доля ОАО «РЖД» в общем объёме грузооборота с учётом трубопроводного транспорта составляет 43,2%, без учёта трубопроводного транспорта – 85,4%.<sup>17</sup>

По сравнению с железными дорогами значительное конкурентное преимущество имеет автомобильный транспорт, объём перевозок которым растёт последние несколько лет, например, в феврале 2017 года объём перевозок грузов автотранспортом вырос на 5% по отношению к предыдущему месяцу.

---

<sup>16</sup> Беспилотные грузовики к 2018 году поедут от Москвы до Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] // Электронное периодическое издание «Ведомости». – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2015/10/23/614036-bespilotnie-gruzoviki> (дата обращения: 22.04.2017).

<sup>17</sup> Официальный сайт «РЖД» [Электронный ресурс]. – М.: ОАО «РЖД», 2016 -. – Режим доступа: <http://rzd.ru/>, свободный. – Загл. с экрана

Такому уверенному росту служат несколько причин:

1. Финансовая нагрузка автомобильного транспорта намного ниже, чем железнодорожного, так как ОАО «РЖД» поддерживает и развивает инфраструктуру железнодорожных путей общего пользования за свой счёт. В то же время, основные затраты на содержание автомобильных дорог несут не автомобильные перевозчики, а государство;
2. Государственное регулирование тарифов на малогабаритный автомобильный транспорт отсутствует. Однако, как отмечалось в параграфе, посвященному PEST-анализу, введение системы расчёта платы на провоз грузов крупногабаритными видами автомобильного транспорта «Платон» негативно повлияло на развитие рынка автомобильных грузоперевозок – из-за того, что спрос на услуги автомобильных перевозчиков постепенно падают, компании не могут увеличить тарифы, поэтому вынуждены работать в убыток. Более того, автомобильные перевозчики столкнулись с возросшими расходами на транспортное обслуживание, топливо и лизинговые платежи.<sup>18</sup>
3. Транспортные услуги автомобильных перевозчиков отличаются высокой доступностью и простотой получения по сравнению с другими видами транспорта.
4. Как отмечалось в PEST-анализе, на сегодняшний день потребители грузовых транспортных услуг предпочитают получать доставку «от двери до двери», автомобильный транспорт, в отличие, например, от железнодорожного, может предоставить потребителю такого рода услугу.<sup>19</sup>

Высокой стабильностью, в свою очередь, отличаются грузооборот и объём грузов, перевезённые трубопроводным транспортом. Как вид транспорта, трубопроводы обладают узкой специализацией: в большей части такой вид транспортировки используется для перемещения сырых углеводородов (газ и нефть), а также нефтепродуктов и отдельных видов химической продукции.<sup>20</sup> Развитие сети

---

<sup>18</sup> Обзор рынка грузоперевозок – 2015: статистика и тенденции [Электронный ресурс] // Информационно-аналитическое сетевое издание «ПРОВЭД». – Режим доступа: <http://xn--b1ae2adf4f.xn--p1ai/analytics/research/32406-obzop-pynka-gpuzopepevozok-2015-statistika-i-tendentsii.html> (дата обращения: 07.04.2017).

<sup>19</sup> Годовой отчёт ОАО «РЖД Логистика» за 2013 год [Электронный ресурс] // ОАО «РЖД Логистика». – Режим доступа: <http://www.rzdlog.ru/upload/iblock/58e/58e9a3b195f8b92edca3ea1ee9a2356a.pdf> (дата обращения: 10.04.2017)

<sup>20</sup> Динамика грузоперевозок в России [Электронный ресурс] // Бюллетень социально-экономического кризиса в России: Декабрь 2015. – Режим доступа: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/7400.pdf> (дата обращения: 10.04.2017)



трубопроводного транспорта влечёт за собой снижение объёмов перевозок сырой нефти мощностями железнодорожной инфраструктуры.<sup>21</sup>

## 1.5 SWOT-анализ ОАО «РЖД» в направлении грузовых перевозок

Таблица 2 SWOT-анализ ОАО «РЖД»

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>Лидерская позиция на транспортно-логистическом рынке РФ</p> <p>Доступ к железнодорожной инфраструктуре</p> <p>Собственный подвижной состав*</p> <p>Различные типы вагонов</p> <p>Относительно низкая себестоимость перевозки на большие расстояния</p>	<p>Высокая степень изношенности подвижного состава*</p> <p>Недостаточно гибкости в отношениях с клиентами</p> <p>Низкий уровень оперативности принятия решений</p> <p>Низкий уровень соблюдения сроков доставки</p>
Возможности	Угрозы
<p>Потенциал роста промышленного производства</p> <p>Увеличение сотрудничества с Китаем</p> <p>Запуск системы взимания платы с грузовиков с массой выше 12 т «Платон»</p>	<p>Снижение объёмов государственной поддержки железнодорожной отрасли</p> <p>Уход высокодоходных грузов на другие виды транспорта</p>

[Составлено автором по указанным источникам]

### 1.5.1 Сильные стороны

ОАО «РЖД» на протяжении нескольких лет возглавляет рейтинг транспортных компаний, представленных на транспортно-логистическом рынке Российской Федерации. По данным на 2015 год выручка холдинга от транспортно-логистической деятельности составила 1215 млрд. рублей, 91% от которой составляют денежные поступления от грузовых и почтовых перевозок, остальные 9% дохода приносит холдингу предоставление в аренду подвижной состав и железнодорожную инфраструктуру<sup>22</sup>. Масштабность холдинга и репутация лидера позволяют получать преимущества в виде крупных клиентов, которые пользуются услугами грузовых перевозок ОАО «РЖД».

Конкурентным преимуществом холдинга ОАО «РЖД» выступает доступ к железнодорожной инфраструктуре. ОАО «РЖД» владеет более чем 90% подвижного

\*Подвижной состав принадлежит операторам подвижного состава, входящих в холдинг ОАО «РЖД»

<sup>21</sup> Годовой отчёт ОАО «РЖД Логистика» за 2013 год [Электронный ресурс] // ОАО «РЖД Логистика». – Режим доступа: <http://www.rzdlog.ru/upload/iblock/58e/58e9a3b195f8b92edca3ea1ee9a2356a.pdf> (дата обращения: 10.04.2017)

<sup>22</sup> Рейтинг крупнейших транспортно-логистических компаний России [Электронный ресурс] // Аналитический центр «Эксперт». – Режим доступа: <http://www.acexpert.ru/analytics/ratings/rejting-kрупнейshih-transportno-logisticheskikh-kom.html> (дата обращения: 22.04.2017).

железнодорожного состава на территории РФ, а также железнодорожными путями общего пользования, которые занимают значительную часть железнодорожной сети страны. Таким образом, ОАО «РЖД» выступает ключевым игроком, в случае, если другим участникам транспортно-логистического рынка необходимо воспользоваться услугой грузовой железнодорожной перевозки.

Различные типы вагонов, которыми владеет ОАО «РЖД» позволяют перевозить множество типов грузов: насыпные и навалочные, наливные, продукция тяжёлой промышленности (конечная и полуфабрикат), скоропортящиеся грузы и т.д.<sup>23</sup>. Кроме того, железнодорожные вагоны вместительней стандартной фуры и могут составлять партии, что позволяет осуществлять более крупные поставки.

На территории такой большой страны как Российская Федерация существует необходимость в перевозке грузов на большие расстояния. ОАО «РЖД» может обеспечить грузовую перевозку на большие расстояния с низкой себестоимостью сравнительно, например, с автомобильным транспортом, за счёт удельной грузоподъёмности железнодорожного транспорта<sup>24</sup>.

### **1.5.2. Слабые стороны**

Согласно аналитикам, уровень износа подвижного состава на момент 2016 года составлял 69%, что более чем на 15% меньше, чем на момент основания компании. Высокий уровень износа локомотивов ведёт за собой снижение экономической эффективности от эксплуатации таких локомотивов. Они чаще требуют ремонта и находятся на внеплановом обслуживании. По оценкам экспертов «Совета операторов железнодорожного транспорта» более чем 15% парка подвижного состава стоят в ремонте на постоянной основе. В связи с этим, дефицит рабочего локомотивного парка достигает 3-5%.<sup>25</sup> За последние 5 лет велась активная работа по обновлению парка локомотивов, включая проект инновационных вагонов, у которых снижен риск повреждения благодаря особой конструкции. Однако из-за большого количества изношенного подвижного состава полное обновление парка потребует много времени и инвестиций.

---

<sup>23</sup> Официальный сайт «РЖД» [Электронный ресурс]. – М.: ОАО «РЖД», 2016 -. – Режим доступа: <http://cargo.rzd.ru/>, свободный. – Загл. с экрана

<sup>24</sup> Лукьянова, О. О конкуренции железнодорожного и автомобильного транспорта на рынке грузовых перевозок / Лукьянова О., Хусафинов Ф. // Научно-практический альманах «Вектор транспорта» – 2014. – №2 – С. 28-43.

<sup>25</sup> Депо для двоих [Электронный ресурс] // Медиахолдинг «Эксперт». – Режим доступа: <http://expert.ru/ural/2013/34/depo-dlya-dvoih/> (дата обращения: 22.04.2017).

Железнодорожная перевозка – сложный процесс, который вовлекает в себя большое количество игроков, особенно, если железная дорога участвует в мультимодальной перевозке. Такая масштабность не позволяет быть достаточно гибким и полностью удовлетворять потребности клиентов, как в плане скорости доставки, так и в установлении гибких тарифов.

При координировании подвижного состава решения необходимо принимать оперативно, так как медлительность может привести к образованию пробок из вагонов, задержке составов, которая влечёт за собой большие штрафы для железнодорожного перевозчика. На сегодняшний день повышение уровня оперативности принятия решений является одним из главных пунктов в концепции развития холдинга.

Зачастую подвижной состав приходит в точку доставки с опозданием, которое могло быть вызвано различными факторами, подробнее они рассмотрены в Главе 2 настоящей работы. Согласно статистике в 2011 году 18,4% отправок прибыли в точку доставки с просрочкой, в 2012 году – 27,5%, в 2013 году – 22,5%. Опоздания негативно влияют на репутацию ОАО «РЖД» как надёжного перевозчика и не позволяют удовлетворять потребность клиентов в своевременной поставке.

### **1.5.3. Возможности**

Деятельность ОАО «РЖД» на рынке транспортно-логистических услуг сильно зависит от уровня промышленного производства, так как именно компании этого сектора выступают в роли крупнейших клиентов холдинга. По данным аналитиков уровень промышленного производства к концу 2017 года может вырасти на 3-4%<sup>26</sup>, соответственно возрастёт количество перевозок продукции от мест производства к местам потребления и полуфабрикатов между промышленными производствами.

Одним из трендов развития рынка транспортно-логистических услуг становится переадресация транспортно-логистических систем на страны Азии. ОАО «РЖД» активно участвует в переговорах, которые приведут к увеличению потока грузов между Российской Федерацией и странами Азии.

Введение системы взимания платы с грузовиков с массой выше 12 т – «Платон» повлекло за собой увеличение себестоимости перевозки автомобильным транспортом, что заставило уйти с рынка большое количество игроков. Таким образом, тарифы, предлагаемые ОАО «РЖД» для железнодорожной перевозки могут стать более

---

<sup>26</sup>Промышленное производство России может вырасти на 3-4% [Электронный ресурс] // Информационное агентство «Regnum» . – Режим доступа: <https://regnum.ru/news/2240940.html> (дата обращения: 22.04.2017).

привлекательными для потенциальных потребителей, переключившихся с автомобильный на железнодорожный транспорт.

#### **1.5.4. Угрозы**

Участие государства в развитии холдинга ОАО «РЖД» всегда играло решающую роль – холдинг всегда мог рассчитывать на государственную поддержку. Тем не менее, в связи с тяжёлой экономической ситуацией и фокусом государства на развитие дорожной инфраструктуры для автомобильного транспорта, объём государственной поддержки железнодорожной отрасли постепенно снижаются. В концепции развития холдинга ОАО «РЖД»-2030 такое снижение отмечается как одна из проблем дальнейшего развития, которая должна быть решена силами холдинга<sup>27</sup>.

По данным ОАО «РЖД» железнодорожный перевозчик постепенно фокусируется на перемещении массовых грузов большими партиями на большие расстояния, теряя высокодоходные и среднедоходные грузы. В первую очередь снижается объём перевозок высокодоходных грузов на небольшие расстояния или партиями небольшого объёма<sup>28</sup>. Такие грузы постепенно переходят на другие виды транспорта, в частности, автомобильный, которому экономически эффективно перевозить высокодоходные грузы на небольшие расстояния и небольшими партиями, в отличие от железнодорожного транспорта.

#### **1.5.5. Выводы по SWOT-анализу ОАО «РЖД»**

Из анализа сильных и слабых сторон, которые есть у ОАО «РЖД» в сфере грузовых перевозок, а также возможностей и угроз, обусловленных внешней средой, можно выделить следующие главные выводы:

- Такие сильные стороны ОАО «РЖД» как доступ к железнодорожной сети и наличие собственного подвижного состава позволят компании реализовать возможности, связанные с ростом уровня промышленного производства. Низкая себестоимость перевозки на большие расстояния (сравнительно с автомобильным транспортом) станет преимуществом при увеличении грузопотоков с Китаем, а также транзита грузов между странами Азии и Европой.

---

<sup>27</sup> Стратегия развития холдинга "РЖД" на период до 2030 года (основные положения) [Электронный ресурс] // ОАО РЖД. – Режим доступа: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=6396#4702902](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396#4702902) (дата обращения: 22.04.2017).

<sup>28</sup> Сужение колеи [Электронный ресурс] // Газета «Коммерсантъ». – Режим доступа: [http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE\\_ID=2&layer\\_id=5050&id=281413](http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=5050&id=281413) (дата обращения: 22.04.2017).

- Необходимо решить проблемы высокой степени изношенности подвижного состава и низкого уровня соблюдения сроков доставки для привлечения клиентов, которые готовы перейти на услуги железнодорожной грузоперевозки с автомобильной ввиду увеличения стоимости из-за запуска системы «Платон».
- Лидерская позиция ОАО «РЖД» на транспортно-логистическом рынке РФ и возможность перевозки широкой номенклатуры грузов благодаря использованию различных видов вагонов могут способствовать предотвращению ухода высокодоходных грузов на другие виды транспорта при правильном использовании сильных сторон, например, с помощью предложения специальных условий для перевозки высокодоходных грузов.
- ОАО «РЖД» необходимо обеспечить оперативность принятия решений и соблюдение сроков доставки для снижения штрафов, которые компания выплачивает как перевозчик, с учётом потенциального снижения объёмов государственной поддержки железнодорожной отрасли.

## **1.6 Описание бизнес-процессов и грузовой базы ОАО «РЖД»**

Для грузовых перевозок ОАО «РЖД», в частности ЦФТО, базовым является процесс составления плана погрузки для номенклатур грузов, которые регулярно отправляются на припортовые станции. От корректного составления плана зависит объём грузов, который будет передан в порт вовремя и, соответственно, размер штрафов, выплачиваемых перевозчиком за несвоевременную поставку грузов грузополучателю. На сегодняшний день ОАО «РЖД» применяет технику равномерного планирования при составлении плана погрузок на припортовые станции. Рассмотрим этот процесс подробнее.

1. В первую очередь, для осуществления перевозки грузов железнодорожным транспортом грузоотправителю необходимо предоставить перевозчику заявку на перевозку грузов. В данной заявке указывается количество вагонов, объём грузов в тоннах, железнодорожная станция назначения и другие сведения, предусмотренные правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом;
2. Следующим этапом происходит оценка грузовой базы: оценивается, какие грузоотправители сколько будут перевозить, в каком объёме и в каких направлениях;
3. Далее оценивается возможность портов по приему этого грузопотока – перерабатывающая способность портов;

4. После этого происходит оценка возможности железнодорожной инфраструктуры пропустить этот грузопоток – пропускные способности железных дорог;

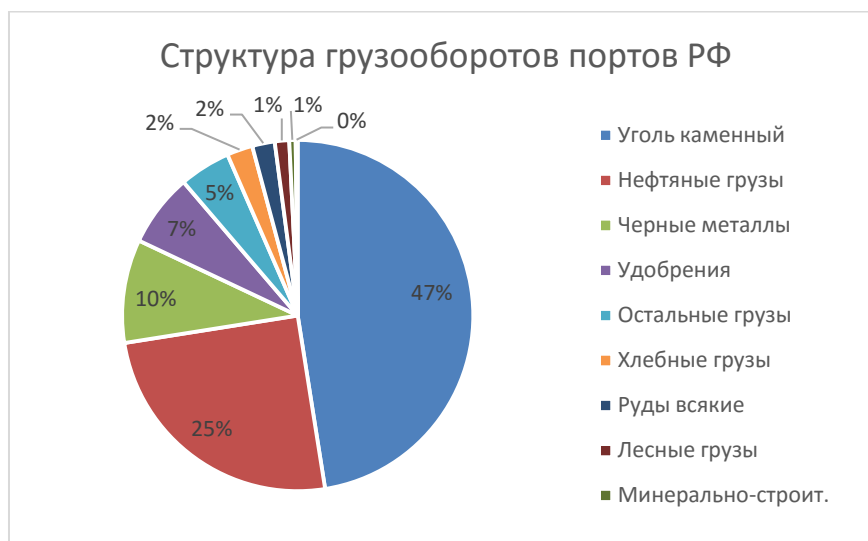
5. В итоге формируются задания железным дорогам по объемам погрузки в разрезе грузов, родов подвижного состава и направлений перевозок (в разрезе железных дорог назначения). Период планирования – месяц.

6. Далее запланированный на месяц объём отгрузок равномерно распределяется по календарным дням. Таким образом, ежедневно со станции в направлении порта отправляется одинаковое количество грузов.

Потенциальным преимуществом такой техники планирования является равномерный подвод на припортовые станции поездов одинаковой длины через равные временные промежутки. При условии, что все составы придерживаются нормированного количества дней на перемещение грузов, такая техника обеспечивает бесперебойную работу портовой инфраструктуры без скопления вагонов на железнодорожных путях около порта. Тем не менее, при таком виде погрузки есть угроза образования пробки из грузовых составов, так как погрузка осуществляется равномерно и, при задержке одного состава, все идущие составы за ним могут образовать пробку, которую сложно координировать. В качестве слабой стороны ОАО «РЖД», выделенной при SWOT-анализе, выступает низкий уровень оперативности принятия решений, что затрудняет осуществление бесперебойного управления потоком вагонов. В транспортном узле «железная дорога – порт» несвоевременная поставка и сложность координирования процессов влечёт за собой скопление вагонов на припортовых станциях, так как они не могут быть вовремя переработаны мощностями порта. Более того, план равномерной погрузки может не совпадать с предпочтениями грузоотправителей по дате отгрузки вагонов со станции отправления. В идеале план равномерной погрузки необходимо согласовывать как с грузоотправителями, так и с грузополучателями, и вносить корректировки.

Самым востребованным грузом для перевозки в направлении портов является каменный уголь, его доля в общей структуре грузооборотов портов РФ за 2016 год составила почти половину – 47%. Также в больших объёмах в адрес портов перевозятся нефтяные грузы (25% в 2016 году), чёрные металлы (10% в 2016 году) и удобрения (7% в 2016 году). В целом объём перевозимых грузов в направлении портов увеличился на 7% в

2016 году по сравнению с предыдущим годом. Структура грузооборотов портов РФ представлена на Рисунке 2.<sup>29</sup>



**Рис. 2** Структура грузооборота портов РФ

[Источник: Информационно-справочный портал «Железнодорожные перевозки» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cargo-report.info/> (дата обращения: 10.04.2017)]

## 1.7 Выводы по Главе 1

Из приведённого выше анализа рынка грузовых перевозок, его ключевых игроков и бизнес-процессов ОАО «РЖД» можно сделать несколько основных выводов.

В настоящее время у всех игроков рынка грузовых перевозок наблюдается тенденция постепенного снижения издержек. Это связано как с постоянно повышающимися тарифами на перевозку, так и с изменениями предпочтений грузоотправителей. Для ОАО «РЖД» снижение издержек является одним из приоритетных направлений, так как железнодорожные перевозчики тарифицируются по максимально высоким ставкам в частности из-за того, что ОАО «РЖД» является монополистом на рынке железнодорожных перевозчиков. Таким образом, ОАО «РЖД» необходимо снизить издержки также за счёт точной координации грузовых потоков, чтобы минимизировать неэффективные передвижения порожних вагонов и штрафы за несвоевременную поставку грузов грузополучателям.

Более того, усложняется координация грузовых потоков, перевозимых железной дорогой из-за их перераспределения, вызванных рядом политических и экономических

<sup>29</sup> Информационно-справочный портал «Железнодорожные перевозки» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cargo-report.info/> (дата обращения: 10.04.2017)

факторов. Также одной из стратегических целей ОАО «РЖД» является глубокая интеграция в евро-азиатскую транспортную систему. Для осуществления такой интеграции железнодорожному перевозчику необходима координация с ещё одним участником транспортной системы – портом. На сегодняшний день отношения между железной дорогой и портом имеют исключительно контрактную составляющую – они координируются теми договорами, которые заключены между двумя игроками. Помимо таких договорных отношений необходима кооперация на операционном уровне – инструмент, который позволил бы принимать оперативные решения на месте, которые удовлетворяли бы обоих агентов: железную дорогу и порт, и позволяли минимизировать негативные последствия неэффективной координации грузовых потоков.

ОАО «РЖД» является крупнейшим железнодорожным грузоперевозчиком и владельцем широкой сети железнодорожных путей. Такая масштабность и участие в процессах многих игроков существенно осложняет координацию грузовых потоков. Более того, это является причиной наличия у ОАО «РЖД» низкого уровня оперативности принятия решений. Что касается бизнес-процессов, связанных с перемещением грузов в направлении портов – на сегодняшний день планирование отгрузок осуществляется децентрализованно каждым филиалом-железнодорожной дорогой. Именно из-за масштабности перевозок и низкого уровня оперативности принятия решений образуются скопления вагонов на подходе к порту, протяжённость которых может составлять сотни километров. Таким образом, управленческой задачей в данной работе выступает совершенствование грузовых железнодорожных перемещений в системе мультимодальных перевозок с фокусом на оперативности принятия решений железными дорогами в случае несвоевременных поставок в направлении портов.



## ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК

### 2.1 Обзор научных исследований мультимодальных перевозок

Мультимодальная перевозка предполагает участие в перемещении грузов более чем одного вида транспорта. Такой вид транспортировки осложнён большим количеством процессов и заинтересованных лиц, которые принимают решения на этапе, за которой они ответственны. Неэффективная координация процесса перевозки со стороны участников может привести к ряду негативных последствий, в частности, к скоплению транспорта из-за ограниченной пропускной способности инфраструктуры.

Проблемы, которые возникают на различных этапах планирования при мультимодальной перевозке грузов, могут быть распределены на четыре категории относительно типа лица, принимающего решения, исходя из четырёх главных процессов в мультимодальной перевозке.

1. Операторы фрахта (drayage operator). Операторы этой категории ответственны за планирование и составление расписания движения перевозки между терминалами (например, терминалом порта) и отправителями и получателями.
2. Операторы терминала. Операторы этой категории управляют процессом перевалки грузов из вагонов на другие виды транспорта.
3. Операторы сети. Операторы этой категории ответственны за планирование инфраструктуры и координирование транспорта, участвующего в мультимодальной перевозке.
4. Мультимодальные операторы. Операторы этой категории могут быть рассмотрены в качестве пользователей мультимодальной инфраструктуры и предлагаемых услуг, выбирающих оптимальный путь перемещения грузов по всей мультимодальной сети.

Каждый тип лица, принимающего решение, сталкивается с проблемами планирования относительно различных временных горизонтов: стратегического, тактического и операционного.<sup>30</sup>

В исследованных литературных источниках, в качестве решения проблемы, не рассматривается оптимизация процесса планирования объёмов груза для отправления. Возможно это связано с тем, что каждый оператор работает со специфичной номенклатурой грузов и спрос грузоотправителей на услуги перевозчика варьируется в

---

<sup>30</sup> Caris, Cathy Macharis. Planning Problems in Intermodal Freight Transport: Accomplishments and Prospects / An Caris, Cathy Macharis, Gerrit K. Janssens // Transportation Planning and Technology. – 2008. – 31:3, P. 277-302.

зависимости от индустрии, типа грузов и других критериев. Более того, сложно предложить универсальную модель, так как среднее время в пути, а, соответственно, и случайные отклонения от сроков, зависят от размеров страны или нескольких стран, в случае пересечения границы один видом транспорта. Исследование эффективности отношений железной дороги с другими участниками мультимодальной перевозки на сегодняшний день фокусируется на технических деталях инфраструктуры железной дороги и порта, путях перемещения грузов и формировании транспортной сети для мультимодальной перевозки. Последняя задача выполняется на стратегическом уровне операторами сети, и включает в себя проектирование сети и планирование инвестиций в различные элементы инфраструктуры.

Согласно работе «Alternative transport network designs and their implications for intermodal transshipment technologies», существует шесть основных типов сетевых инфраструктур<sup>31</sup>. Все модели представляют собой различные способы доставки груза из точки А в точку В, с возможностью консолидирования грузов в пути. Рассмотрим три часто используемые модели проектирования инфраструктуры сети:

1. Direct link – в таком случае перемещение грузов происходит напрямую из точки А в точку В, не вовлекая другие звенья, которые располагаются на пути следования транспорта.
2. Corridor – модель такого типа представляет собой прямую, по которой идёт груз из точки А в точку В, при этом проходя через звенья, которые находятся на пути следования. Более того, из близлежащих звеньев груз доставляется до тех, которые лежат на этой прямой. Таким образом, груз консолидируется не только из точек, лежащих на пути, но и из соседних. На сегодняшний день для перемещения грузов в ОАО «РЖД» используется именно такая инфраструктурная сеть.
3. Hub-and-spoke – в случае применения такой модели, создаётся так называемый «хаб» - это центральная станция, на которой консолидируются грузы со всех привязанных к ней звеньев. Такая система набирает популярность в последнее время, так как обеспечивает большую гибкость и более низкие издержки, по сравнению с представленными выше моделями инфраструктуры транспортной сети.

Подходы к методам построения сетевых моделей рассмотрены в научных работах различных авторов. Так, например, в работе «Multicriteria approach to the evaluation of intermodal freight villages» представлена многокритериальная математическая модель,

---

<sup>31</sup> J. Woxenius. Alternative transport network designs and their implications for intermodal transshipment technologies / J. Woxenius // European Transport / Trasporti Europei. – 2007. – N. 35. – P. 27-45.

которая позволяет оценить различные проекты расположения мультимодальных терминалов. Главная идея такой методологии – это найти взаимовыгодное решение между общественным и бизнес интересом. Результатом применения методологии является ранжированный список потенциальных локаций для построения мультимодальных терминалов<sup>32</sup>. Также интересна работа «Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review», в которой представлена разработанная GIS модель (основанная на географических информационных системах), которая позволяет проанализировать потенциальное расположение новых терминалов, оценивая эффект, который будет оказан на уже существующие терминалы<sup>33</sup>. В целом, задача проектирования мультимодальной сети широко исследована научным сообществом. Предлагаются различные подходы к решению данной задачи: от математической модели линейного программирования до методов компьютерного моделирования.

Тем не менее, полное ре-проектирование транспортной инфраструктуры для железной дороги предполагает значительные инвестиции. Более того, в настоящей работе рассматривается узкоспециализированная задача: взаимодействие железной дороги и порта в мультимодальной перевозке. Таким образом, несмотря на то, что методы проектирования транспортной инфраструктуры позволяют обеспечить бесперебойные грузовые потоки между звеньями сети на стратегическом уровне, они не будут использоваться автором в данном исследовании, так как целью работы является решение более узкой задачи: формирование методов координации грузовых потоков в направлении морских портов.

## **2.2 Концепция «сухих портов»**

Использование той или иной сети зависит от объёма и характера грузовых потоков и технических особенностей инфраструктуры. Правильный выбор сети инфраструктуры и мест расположения связующих звеньев в мультимодальной транспортировке позволяет осуществлять бесперебойный обмен потоками грузов между элементами инфраструктуры. Однако функционирующих звеньев становится недостаточно для координирования потока грузов в порт и из порта, в результате транспортные сети начинают реализовывать относительно новую концепцию «сухих портов».

---

<sup>32</sup> Kapros, S. Multicriteria approach to the evaluation of intermodal freight villages / Kapros, S., Panou, K. & Tsamboulas, D. A. // *Transportation Research Record*. – 2005. – P. 56-63.

<sup>33</sup> Macharis, C. Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review / Macharis, C., Bontekoning, Y. M. // *European Journal of Operational Research*. – 2004. – №153 – P. 400-416.

### 2.2.1 Описание концепции «сухих портов»

В настоящее время концепция внедрения в транспортную инфраструктуру «сухих портов» исследуется во многих научных работах. Авторами изучаются преимущества и потенциальные проблемы, связанные с использованием этой относительно новой концепции, а также предлагаются различные подходы к определению месторасположения «сухого порта» и его дальнейшему техническому развитию.

Согласно определению, предложенному авторами работы «The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland», опубликованной в «Journal of Transport Geography», «сухой порт» - это внутренний мультимодальный терминал, который имеет непосредственное сообщение с морским портом с помощью крупногабаритных транспортных средств, предпочтительно железной дорогой, где клиенты могут оставить и/или забрать свой груз также, как и в терминалах порта. Помимо выполнения функции транспортного терминала, который осуществляет обмен грузовыми потоками с морским портом, «сухой порт» также выполняет ряд дополнительных функций, которые на сегодняшний день выполняются в порту, что занимает значительное время и затрудняет продвижение потока грузов в порт и из него. Так, например, концепция «сухих портов» предполагает осуществления с использованием их мощностей перевалки грузов между различными видами транспорта. Более того, «сухой порт» обеспечивает на своей территории хранение и, в случае необходимости, консолидацию грузов до их отправления в порт или после прибытия из порта. Также концепция «сухого порта» предполагает перемещение процедур, связанных с таможенным оформлением грузов, что значительно сокращает время, проведенного партии груза непосредственно в морском порту. Таким образом, «сухой порт» совмещает в себе функции перевалочного пункта, временного склада и таможенного терминала<sup>34</sup>.

Отмечается множество преимуществ включения «сухих портов» в транспортную инфраструктуру. Авторами работы «A logistics and supply chain management approach to port performance measurement», опубликованной в «Maritime Policy & Management», в качестве главного преимущества отмечается возможность разгрузить соответствующий морской порт с помощью «сухого порта». Согласно описанному исследованию, использование «сухого порта» в отдалении от побережья снижает нагрузку на морской порт, и, соответственно, увеличивает его перерабатывающую способность. Таким образом, в порту образуются резервные грузовые места, что позволит обслуживать судна

---

<sup>34</sup> Roso, V. The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland / Woxenius, J. and K. Lumsden // Journal of Transport Geography. – 2009. – V. 17 - P. 338-345

с большим количеством грузовых мест<sup>35</sup>. В работе «Dry Port Development: A Systematic Review», которая была опубликована в «Journal of ETA Maritime Science», авторы подчёркивают, что оптимальным способом транспортировки грузов из «сухого порта» в морской порт выступает именно железная дорога. Такое переключение с автомобильного транспорта отмечается в качестве ещё одного преимущества создания «сухих портов», так как это позволит сократить количество фур на дорогах, что ведёт к снижению загруженности дорог, количества аварий грузовых автомобилей, стоимости поддержания автомобильных дорог и загрязнению окружающей среды данной местности. Эти улучшения играют важную роль, так как морские порты обычно находятся вблизи больших городов, которые испытывают повышенный уровень загруженности дорог и загрязнения окружающей среды. Таким образом, концепция «сухих портов» позволяет обеспечить бесперебойное функционирование и продуктивность транспортных сетей, связанных с морским портом<sup>36</sup>.

Так как концепция «сухих портов» является относительно новой и изучается только с конца XX века, одна из самых важных задач – размещения «сухих портов» остаётся недостаточно раскрытой научным сообществом. Подходы к определению местоположения «сухого порта» схожи с методами размещения «хаба» в модели hub-and-spoke, но, тем не менее, имеют отличительные особенности. В обзоре исследований методов размещения «сухих портов», приведённом в работе «Dry Port Location Problem: A Hybrid Multi-Criteria Approach», опубликованной в «Journal of ETA Maritime Science», отмечается, что в настоящий момент опубликовано всего 13 работ, посвященных проблеме определения местоположения «сухого порта». Большинство (8) работ рассматривают многокритериальный подход к определению местоположения, в 4 исследованиях авторы основываются на одном критерии, и одна работа представляет собой смешанный моно-многокритериальный подход к исследованию. Все критерии условно разделены на 7 групп: географические, правовые, индустриальные, операционные, экологические, социальные и экономические. Авторы предлагают свой подход к решению задачи размещения «сухих портов», но отмечают, что эта проблема остаётся недостаточно исследованной<sup>37</sup>.

---

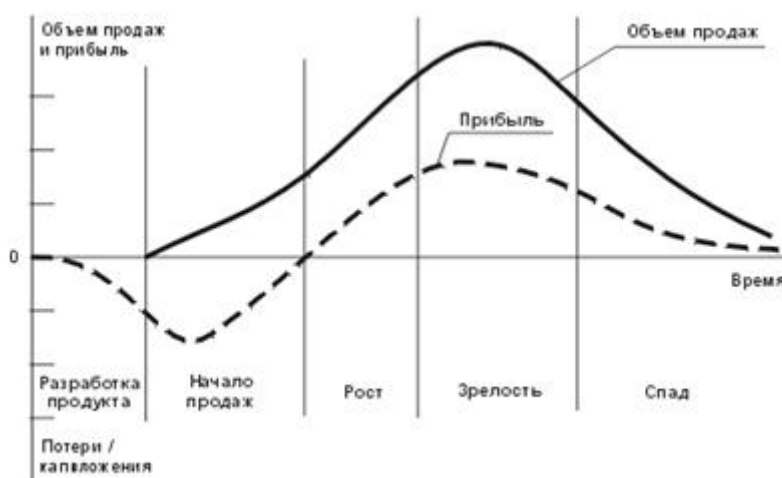
<sup>35</sup> Bichou, K. A logistics and supply chain management approach to port performance measurement / Bichou, K., Gray, R. // Maritime Policy & Management. – 2004. – V. 31 (1) – P. 47–67.

<sup>36</sup> Bentaleb, F. Dry Port Development: A Systematic Review / Bentaleb, F., Mabrouki, C. Semma A. // Journal of ETA Maritime Science. – 2015. – V. 3(1) – P. 75 - 96

<sup>37</sup> Bentaleb, F. Dry Port location problem: a hybrid multi-criteria approach / Bentaleb, F., Mabrouki, C. Semma A. // Journal of ETA Maritime Science. – 2016. – V. 4(1) – P. 73 - 90

### 2.2.2 Жизненный цикл «сухих портов»

На сегодняшний день в мире представлено не так много «сухих портов», которые выполняют весь функционал согласно определению. Работа «Dry Port-Seaport System Development: Application of the Product Life Cycle Theory», опубликованная в «Journal of Transportation and Logistics» в 2016 году, представляет интерес, так как рассматривает концепцию «сухих портов» в разрезе жизненного цикла продукта, отмечая особенности каждой стадии развития существующих «сухих портов». В качестве модели используется традиционная модель жизненного цикла товара, состоящая из 5 основных стадий. Модель представлена на рисунке 3.



**Рисунок 3** Модель жизненного цикла товаров

[Источник: Берг Д.Б. Модели жизненного цикла: учебное пособие / Берг Д.Б., Ульянова Е.А., Добряк П.В. // Изд-во Урал – 2014. - с. 29]

#### **Стадия 1. Разработка.**

На данной стадии осознаётся необходимость добавления «сухого порта» в транспортную инфраструктуру и анализируются возможности. Главным результатом, полученным на стадии разработки, должен стать план внедрения «сухого порта» в существующую транспортную сеть. В плане должны быть указаны цели и ожидаемые показатели оперирования «сухого порта» на короткий, средний и долгосрочный горизонты планирования.

#### **Стадия 2. Внедрение**

На стадии внедрения «сухой порт» добавляется в транспортную сеть, но пока исполняет ограниченный функционал, в основном связанный с перевалкой и временным хранением грузов. Все процедуры элементарны и выполняются не на постоянной основе, а в зависимости от объёма потока грузов. Географически «сухой порт» на данной стадии

обычно привязан исключительно к ближайшему городу и соответствующему морскому порту.

Например, концепция «сухого порта» Вирджиния в Северной Америке в 355 км от морского порта Вирджиния разрабатывалась 9 лет. На стадии внедрения «сухой порт» перерабатывал 8000-9000 контейнеров в год и работал всего 5 дней в неделю.

### ***Стадия 3. Рост***

На данной стадии заметно увеличивается объём перерабатываемых «сухим портом» грузов, что ведёт к расширению территории для временного хранения грузов. Более того, значительно повышается уровень технического развития «сухого порта»: стандартизируются процессы и процедуры, начинают внедряться инновации, обслуживание становится более автоматизированным. Постепенно увеличивается количество морских портов, обслуживаемых «сухим портом», благодаря чему значительно развивается инфраструктура транспортного сообщения между «сухим портом» и соответствующими морскими портами. Происходит переход к переработке грузов в обоих направлениях: тех, что будут отправлены в морской и порт и тех, которые из него прибывают. Для существенной разгрузки морских портов добавляются различные функции, например, таможенное оформление. В целом, с начала вхождения «сухого порта» на стадию роста начинается его стремительное развитие, включая соответствующую инфраструктуру. Однако, в основном «сухой порт» на стадии роста используется исключительно как звено при перемещении грузов из «сухого порта» в морской порт или из морского порта в «сухой порт», то есть только в одном направлении.

На стадии роста «сухой порт» Вирджиния обеспечивал автомобильное и железнодорожное транспортное сообщение исключительно для контейнеров, прибывающих из морского порта Вирджиния. Объём ежегодно перерабатываемых контейнеров увеличился до 20000 и находился на данной отметке около двух лет.

### ***Стадия 4. Зрелость***

На стадии зрелости развитие «сухого порта» замедляется в сравнении со стадией роста. Тем не менее, постепенно продолжают увеличиваться в масштабах все функции, выполняемые «сухим портом», в частности, увеличение площадей для временного хранения грузов может стать ограничением для дальнейшего развития инфраструктуры порта. В результате, фокусом для инвестиций в развитие «сухого порта» на стадии зрелости становится оптимизация выполняемых процессов. Часто на данной стадии появляются новые «сухие порты» для того, чтобы больше разгрузить морские порты.

Выполняемые функции могут различаться, предложение услуг добавленной стоимости становится конкурентным преимуществом «сухого порта», обеспечивающее дальнейшее успешное функционирование.

Согласно авторам, «сухой порт» Вирджиния – один из немногих «сухих портов», достигших стадии зрелости. Большинство «сухих портов» на данный момент находятся на стадии роста. На стадии зрелости «сухой порт» Вирджиния осуществляет перемещение грузов в морской порт и из него по собственной железнодорожной инфраструктуре. Количество таких перемещений к 2005 году достигло 35000.

### ***Стадия 5. Спад***

Стадия спада достигается, когда «сухой порт» подходит к точке насыщения и последующая оптимизации процессов и развитие инфраструктуры либо не могут быть достигнуты, либо не приносят существенных результатов. Авторы предполагают, что это сопровождается падением рынка и общим снижением перемещаемых объёмов грузов. На данной стадии происходит спад всей системы «сухих портов», который даёт начало развитию новой концепции. Таким образом, стадия спада – это возможность для создания новой концепции или замены существующей системы новой, которая позволит ещё больше реализовать потенциал мультимодальной инфраструктуры, связанной с морским портом. На сегодняшний день ни один существующий «сухой порт» не достиг стадии спада<sup>38</sup>.

### **2.2.3 «Сухие порты» ОАО «РЖД»**

На территории Российской Федерации концепция «сухих портов» начала внедряться сравнительно недавно. На сегодняшний день, по словам представителей ОАО «РЖД», введены в эксплуатацию три «сухих порта»: ООО «Логистический парк «Янино», ЗАО «Логистика-Терминал» и ООО «Сухой порт» в г. Артём.

Согласно жизненному циклу, представленному в рассмотренной работе «Dry Port-Seaport System Development: Application of the Product Life Cycle Theory», можно сделать вывод, что ЗАО «Логистика-Терминал» и ООО «Сухой порт» на данный момент находятся на стадии внедрения, так как в основном играют роль терминального складского порта и обеспечивают сравнительно небольшой объём грузов. Развитие ООО «Логистический парк «Янино» можно отнести к стадии роста, так как постепенно увеличивается объём перерабатываемых грузов, предлагаются услуги таможенного оформления от таможенного поста «Янинский» Санкт-Петербургской таможни.

---

<sup>38</sup> Bentaleb, F. Dry Port-Seaport system development: Application of the product lifecycle theory / Bentaleb, F., Mabrouki, C. Semma A. // Journal of Transportation and Logistics. – 2016. – V. 1(2) – P. 116 - 128



Основным препятствием для полной реализации концепции «сухих портов» на территории Российской Федерации является вопрос таможенного оформления грузов. Нормы, которые регламентируют алгоритм выполнения таможенных операций с использованием технологии «сухих портов», были введены только в 2010 году с Приказом ФТС России «Об утверждении порядка осуществления таможенных операций с товарами при прибытии на таможенную территорию Российской Федерации в морских портах и их перемещения из мест прибытия в места временного хранения». Однако, условиями данного приказа предусмотрено, что морской порт и склад временного хранения («Сухой порт») должны находиться в регионе одного таможенного поста или таможни<sup>39</sup>. Такие условия сильно ограничивают развитие технологии морской порт – «сухой порт» на территории Российской Федерации.

### 2.3 Математическая модель построения оптимального плана погрузки

Согласно одному из подходов определения функций логистики, выделяют следующие этапы: планирование, выполнение и контроль движения товаров (грузов, людей)<sup>40</sup>. В ранней работе автора рассматривается подход к первому этапу - планированию подвода вагонов на припортовые станции<sup>41</sup>. В качестве предложения решения проблемы была разработана линейная модель, применение которой позволяет оптимизировать план отгрузок для ОАО «РЖД». В предыдущей работе автор подробно описывает процесс разработки, применения модели, а также иллюстрирует эффективность работы модели, сравнивая ситуацию до и после оптимизации. В настоящей работе автор остановится на главных моментах, связанных с описанием и применением математической модели, проиллюстрирует эффективность её применения, а также подчеркнёт элементы модели, которые требуют улучшения.

Основными управляемыми переменными линейной модели оптимизации выступает количество вагонов, погруженных и отправленных со станции отправления в направлении припортовой станции. Вагоны отправляются со станции в день  $n$  и прибывают на припортовую станцию в день  $m$ , причём,  $m = n + c_{ij}$ , где  $c_{ij}$  – среднее количество дней, необходимое для перемещения вагонов со станций железной дороги  $i$  на припортовые станции железной дороги  $j$ . В данной модели  $c_{ij}$  – неизменяемый заданный

---

<sup>39</sup> Галин А.В. Сухие порты как часть инфраструктуры. Направления развития / Галин А.В. // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – №2(24) – С. 87-92

<sup>40</sup> Terminology in Logistics. Terms and Definitions / European Logistics Association // Glossary of Logistics Terms. – 2005. – P. 54

<sup>41</sup> Sakhanova M. Planning, control and coordination methods for freight rail transportation to seaport terminals / Sakhanova M., Zyatchin A. // 14<sup>th</sup> CEMS Research Seminar on Supply Chain Management : Supply Chain Management – Recent Trends and Future Perspectives. – 2017. – P. 20-24

параметр, также в модели за константу принято суммарное количество вагонов, отправленных в месяце предшествующем рассматриваемому со всех станций железных дорог  $i$ , которые пришли на припортовые станции железной дороги  $j$  уже в рассматриваемом периоде, в день  $m$  -  $k_m$ . Данный параметр принят за константу, так как мы управляем только вагонами, отправленных в рассматриваемом периоде, а погрузкой вагонов в предыдущем периоде мы не управляем, а принимаем их как есть. Это происходит из-за того, что автором в работе рассматривался только один месяц в качестве горизонта планирования. Если эта модель будет применяться на постоянной основе каждый месяц, значение  $k_m$  будет управляемым посредством оптимизации планирования отгрузок предыдущего периода.

Перейдём к рассмотрению всех управляемых переменных в предложенной линейной модели оптимизации планирования отгрузок вагонов на припортовые станции.

$x_{ijnm}$  – количество вагонов, отправленных со станций  $i$  -ой дороги в  $n$ -й день, которые приходят на припортовые станции  $j$ -ой дороги в  $m$ -й день согласно плану перевозок  $X = \{x_{ijnm}\}$ .

$d_m^-$  - количество вагонов, недостающих до значения суммарной перерабатывающей способности терминалов портов железной дороги  $j$  в сутки.

$d_m^+$  - количество вагонов, которое превосходит значение перерабатывающей способности терминалов портов железной дороги  $j$  в сутки.

Следующим шагом рассмотрим ограничения, действующие в описываемой линейной модели оптимизации. Стоит отметить, что ограничения соответствуют этапам процесса составления плана отгрузок, описанном в Главе 1 данной работы – учитываются ограничения, связанные с объёмом предложения (1 этап), инфраструктурой порта (2 этап) и инфраструктурой железнодорожных путей (3 этап). Все используемые переменные - неотрицательные.

Ограничение на месячный объём вагонов к отправке соответствует суммарному предложению в месяц по дороге  $i$  для дороги  $j = \sum x_{ijnm}$

Ограничение на пропускную способность дороги в месяц соответствует максимальному количеству вагонов, которое может быть отправлено со станций дороги  $i$  на припортовые станции дороги  $j$  в сутки  $= \max x_{i.njm}$

Ограничение на спрос в месяц соответствует суммарному спросу в месяц по дороге  $j$  для дороги  $i = \sum_1^i \sum_1^n x_{ijnm}$

Ограничения на перерабатывающую способность портов соответствует перерабатывающей способности терминалов портов железной дороги  $j$  в сутки  $= k_m + \sum_1^i x_{injm} + d_{m-1}^+ + d_m^- - d_m^+$

Целевой функцией задачи является минимизация суммы избыточных отклонений суточного количества вагонов на путях ОАО «РЖД» в портовой зоне от суточной перерабатывающей способности соответствующих терминалов. Вагоны отправляются со станций железных дорог  $i$  и приходят на припортовые станции железных дорог  $j$  соответственно.

$$\min \left( \sum_1^m d_m^+ \right)$$

Результатом применения описанной математической модели является оптимальный план погрузок, следуя которому, до минимума сводится количество вагонов, простаивающих на припортовой станции в ожидании продвижения в порт. После проведения оптимизации автором в ранней работе, количество вагонов, простаивающих в феврале 2016 года на припортовой станции Мурманск снизилось с 398 вагонов до 9 (которые были отправлены ещё в предыдущем периоде и, соответственно, мы ими не управляем), на станции Выборг с 74 вагонов до 0. Фактический и оптимизированный планы погрузок представлены в Приложениях 1-2 и Приложениях 3-4 соответственно. Также была проведена оптимизация в разрезе грузов, подробнее с результатами можно ознакомиться в предыдущей работе автора.

Таким образом, разработанная линейная модель позволяет минимизировать количество вагонов, которое превышает перерабатывающую способность терминалов порта. Важным отличием от способа планирования, который ОАО «РЖД» использует на сегодняшний день, является то, что предложенная модель предполагает централизованное планирование. То есть при создании плана отгрузок на одном филиале – железной дороги, необходимо учитывать объём отправления с других железных дорог. Если планирование будет происходить централизованно, железные дороги смогут подстраивать планируемый объём отправок под грузопотоки с других дорог в направлении припортовых станций, таким образом, сводя к минимуму количество вагонов, простаивающих на путях ОАО «РЖД» до того, как они могут быть переработаны мощностями порта. Представленная модель оптимального плана погрузок далее в настоящей работе будет обозначаться как Модель-1.

## 2.4 Направления для разработки метода координации потока вагонов

Как описано в предыдущем параграфе, один из подходов к определению функций логистики делится на три этапа: планирование, выполнение и контроль потока товаров (грузов, людей). Ранее автором была предложена Модель-1 оптимизации планирования продвижения потоков вагонов в направлении порта. Однако для применения данной модели действует предположение строгого соблюдения нормативных сроков доставки – параметр  $c_{ij}$  – константа. Тем не менее, существует множество факторов, которые влияют на скорость передвижения поездов, количество остановок, длительность задержек и так далее. За конкретные причины опозданий ответственны соответствующие службы железной дороги. Однако, в оперативном учете при наличии задержек поезда, вызванных несколькими причинами, общее опоздание поезда относится на службу железной дороги, по вине которой допущена наибольшая задержка, или на первопричину, если остальные задержки вызваны ей. Остановимся подробнее на некоторых причинах замедления продвижения потока вагонов от одной станции к другой<sup>42</sup>.

1. Служба перевозок несёт ответственность за такие причины как задержка в формировании состава поездов и подготовки сопутствующих документов, а также неправильная регулировка движения поездов диспетчером, которая приводит к опозданиям на станцию прибытия. Интересно, что отдельно учитываются задержки, связанные с особой технологической необходимостью, например, с необходимостью пропустить опаздывающий поезд, который имеет преимущество в проследовании.
2. Опоздания относятся на службу локомотивного хозяйства, например, в случае порчи локомотивов на железнодорожных станциях и в пути следования или несоблюдения времени, выделенного для перегона хода пассажирских и грузовых поездов.
3. В случае, если время, затраченное на обработку составов поездов, больше, предусмотренного графиком движения или технологическим процессом, ответственность за опоздание на себя берёт служба вагонного хозяйства.

В процессе передвижения состава со станции отправления на станцию прибытия вовлечено множество игроков, по вине которых, может быть вызвана задержка состава. Помимо главных участников, перечисленных выше, к ним относятся: служба пригородных перевозок, служба электроснабжения, служба сигнализации, централизации

---

<sup>42</sup>Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации : Федеральный закон от 10.01.2003 N 18-ФЗ (ред. от 06.04.2015)

и блокировки, служба информатизации и связи, служба пути, служба грузовой и коммерческой работы.

Таким образом, во время организации потока грузов (вторая функция логистики), даже при следовании оптимальному плану погрузки вагонов, возникает проблема скопления поездов на припортовых станциях из-за неравномерности их подхода, обусловленной различными факторами, которые могут задерживать поезд в пути от станции отгрузки до припортовой станции. Следовательно, необходимо разработать метод контроля потока грузов (согласно третьей функции логистики) с учётом случайных отклонений от нормативных сроков поставки, чтобы снизить количество простаивающих вагонов, которые не могут быть переработаны портом вовремя, и соответствующие штрафы за несвоевременную поставку.

## **2.4 Выводы по Главе 2**

В данной главе автором были исследованы три различных подхода к повышению эффективности взаимодействия железной дороги и порта в мультимодальной перевозке с помощью координации грузовых потоков в адрес портов. Данные подходы требуют разных объёмов инвестиций, степени контроля и времени на разработку и внедрение.

Как показал обзор научных исследований, методы проектирования транспортной инфраструктуры могут принести значимые результаты при решении более широкой проблемы, чем та, которая изучается в настоящей работе. Более того, решения об изменении инфраструктуры сети принимаются на стратегическом уровне, требуют значительных инвестиций и времени на разработку и внедрение. Таким образом, автором не будут использованы данные методы в дальнейшем исследовании.

В качестве ещё одного подхода к совершенствованию процесса продвижения потока вагонов в адрес портов рассмотрена концепция «сухих портов». Данная концепция является относительно новой и ещё недостаточно исследована научным сообществом. Тем не менее, в проведённых исследованиях отмечается значительная степень разгрузки морских портов как результат введения в транспортную сеть «сухих портов». Разгрузка происходит за счёт перемещения части функций, обычно выполняемых морским портом, на «сухой порт», в частности: функций временного хранения, перевалки грузов, таможенного оформления. Внедрение в транспортную сеть «сухого порта» позволит координировать поток грузов в адрес портов, и такой метод может быть предложен в качестве похода к решению проблемы загрузки портов. На сегодняшний день на территории Российской Федерации уже осваивается новая концепция — введено в эксплуатацию три «сухих порта». По аналогии с моделью жизненного цикла товара,

традиционно применяемой в маркетинге, автором был проанализирован процесс их развития. В результате, автором был сделан вывод, что 2 из 3 «сухих портов» на территории Российской Федерации на данный момент находятся на стадии внедрения, и основные инвестиции направлены на их дальнейшее развитие. Таким образом, методы размещения новых «сухих портов» для совершенствования координации грузовых потоков в адрес портов не будут применены автором в качестве подхода к решению поставленной управленческой задачи.

В ранней работе автором был представлен инструмент оптимизации планирования грузовых отправок в адрес портов с учётом их перерабатывающей способности и инфраструктурных ограничений. В результате применения модели снижается количество вагонов, которое превышает суточную перерабатывающую способность порта. Однако, описанная модель не учитывает возможность отклонения от нормативных сроков доставки, вызванную различными факторами, которые могут задержать грузовые вагоны в пути. Таким образом, автор приходит к выводу о необходимости разработки алгоритма, который позволял бы оперативно принимать решения об объёмах вагонов, отправляемых в порт, в случае несвоевременной поставки вагонов с предшествующей станции, с целью минимизации штрафов, которые обязан выплатить перевозчик.

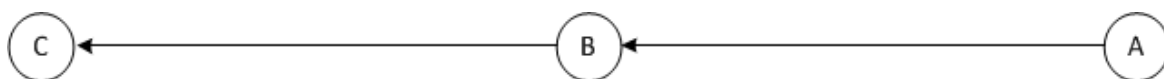
## ГЛАВА 3. МЕТОДЫ КООРДИНАЦИИ ГРУЗОПОТОКОВ В АДРЕС ПОРТОВ

Под координацией в настоящей работе понимается согласование действий звеньев сети, участвующих в продвижении потока вагонов в адрес портов<sup>43</sup>. В данной главе автором предложены алгоритмы координации грузовых потоков в адрес портов в качестве методов согласования действий звеньев – станций, железных дорог и морских портов.

### 3.1 Разработка Алгоритма-1 координации потоков

В качестве предложения для решения проблемы неравномерного подвода грузовых вагонов на припортовые станции автором предложена математическая модель оптимизации плана погрузок (Модель-1), которая позволяет минимизировать количество вагонов на путях ОАО «РЖД» в портовой зоне. Тем не менее, при реализации оптимального плана погрузки возникают отклонения от нормативных сроков доставки, из-за чего вагоны подходят в порт не в запланированные даты. В данном параграфе описывается алгоритм координирования потоков грузовых вагонов, отправляемых согласно оптимальному плану погрузки (Модель-1) с учётом случайных отклонений в объёмах прибывающих вагонов.

Для упрощения разработки модели рассматриваются 2 железные дороги (А и В) и порт (С). Предполагается, что вагоны с грузом отправляются со станции железной дороги А в направлении порта С, при этом проходя через железную дорогу В. С железной дороги В, в свою очередь, также происходят отгрузки грузовых вагонов в порт С. Поток вагонов проиллюстрирован на Рисунке 4.



**Рисунок 4** Поток вагонов в модели выравнивания потоков

[Источник: Выполнено автором]

Таким образом, с железной дороги В в направлении порта С отправляются, как и собственные вагоны, которые были запланированы к отправлению, так и вагоны, которые прибыли с железной дороги А. Железная дорога В выступает в качестве лица, принимающего решение о количестве вагонов, которые будут отправлены в порт в день  $i$ . Результатом применения алгоритма станет оптимальное количество вагонов железной дороги В, которые должны быть отправлены в порт С с железной дороги В в день  $i$ , с учётом отклонений в количестве вагонов, прибывающих с железной дороги А. Предполагается, что вагоны, которые прибыли с железной дороги А, в полном составе

<sup>43</sup> Левкин Г. Логистика: теория и практика / Левкин Г. – Феникс, 2009. – 25 с.

отправляются в направлении порта С в день  $i$ . Перейдём к рассмотрению параметров и переменных Алгоритма-1.

$x_i^*$  - количество вагонов, которые будут отгружены с железной дороги В в направлении порта С в день  $i$  согласно оптимальному плану из Модели-1.

$y_i^*$  - количество вагонов, которые прибывают на железную дорогу В с железной дороги А для последующей отправки в порт С в день  $i$  согласно оптимальному плану из Модели-1.

$y_i$  – фактическое количество вагонов, которое прибывает на железную дорогу В с железной дороги А для последующей отправки в порт С. Главным отличием рассматриваемого алгоритма от Модели-1, является то, что в данном случае учитываются случайные отклонения прибытия составов от нормативных сроков доставки. Для этого мы вводим новый изменяемый параметр – это фактическое количество вагонов, которые прибывают с железной дороги А на железную дорогу В в день  $i$ . Это значения равномерно распределённой случайной величины в пределах заданных отклонений от параметра  $y_i^*$  - количества вагонов, которые прибывают на железную дорогу В с железной дороги А для последующей отправки в порт С в день  $i$  согласно оптимальному плану из Модели-1.

$x_i^{**}$  - скорректированное количество вагонов, которые будут отгружены с железной дороги В в направлении порта С в день  $i$  согласно оптимальному плану из Модели 1 и фактическому количеству вагонов, которое прибывает на железную дорогу В с железной дороги А для последующей отправки в порт С -  $y_i$ .

$T_B$  – общее количество вагонов на дороге В на начало рассматриваемого периода (дня  $i$ ), в котором планируется выполнить отpravку в направлении порта С.

### ***Описание Алгоритма-1 координации потоков***

Алгоритм-1 координации потоков представляет собой четыре ситуации относительно количества прибывающих вагонов с железной дороги А и количества вагонов на железной дороге В, готовых к отправлению в порт С. Каждое действие в алгоритме диктуется сложившейся ситуацией, что в общем виде выглядит как модель «Если – то».

Рассмотрим ситуацию, когда фактическое число вагонов, которое пришло с железной дороги А на дорогу В в день  $i$ , меньше запланированного объёма исходя из оптимального плана погрузки (Модель-1). Предположим, что число недостающих вагонов меньше общего количества вагонов на станции В. Тогда число вагонов, которое отправляет дорога В, увеличится на недостающее количество вагонов. То есть дорога В



отправит свои дополнительные вагоны, которые не планировала отправлять в день  $i$ , согласно оптимальному плану погрузки, чтобы полностью заполнить пропускную способность порта С и предотвратить большой поток вагонов в последующие дни. В алгоритме такая ситуация описывается в следующем виде.

$$\text{Если } T_B \geq 0, y_i^* \geq y_i, y_i^* - y_i \leq T_B, \text{ то } x_i^{**} = y_i^* - y_i + x_i^*,$$

$$T_B \text{ уменьшается на значение } x_i^{**}$$

Теперь рассмотрим ситуацию, когда с железной дороги А на дорогу В в день  $i$  приходит меньше вагонов, чем указано в оптимальном плане погрузки (Модель-1), но дорога В не может добавить необходимое количество дополнительных вагонов, так как число недостающих вагонов больше, чем количество вагонов на дороге В в день  $i$ , доступных к отправке в порт С. В таком случае, согласно модели, дорога В принимает решение отправить все свои вагоны, независимо от того, сколько она планировала отправить в день  $i$ . Таким образом, на конец периода на дороге В не остаётся вагонов.

$$\text{Если } T_B \geq 0, y_i^* \geq y_i, y_i^* - y_i > T_B, \text{ то } x_i^{**} = T_B,$$

$$T_B = 0$$

Далее необходимо рассмотреть ситуацию, когда количество вагонов, которые пришли на дорогу В с дороги А больше запланированного. Если количество «лишних» вагонов меньше, чем запланировано для отправки с дороги В на припортовую станцию С, то на дороге В принимается решение снизить количество вагонов для отправления с дороги В и отправить «лишние» вагоны дороги А, а свои вагоны отправить в следующем периоде, для того, чтобы предотвратить скопление вагонов на припортовой станции из-за недостаточной пропускной способности порта. Ниже приведено описание данной ситуации в алгоритме.

$$\text{Если } T_B \geq 0, y_i^* \leq y_i, y_i^* - y_i \leq T_B, \text{ то } x_i^{**} = x_i^* - (y_i - y_i^*),$$

$$T_B \text{ уменьшается на значение } x_i^{**}$$

В случае, когда число вагонов, которые пришли с дороги А на дорогу В, больше запланированного и количество «лишних» вагонов превышает объём запланированный к отправлению с дороги В в день  $i$ , на дороге В принимается решение отправить исключительно вагоны, которые прибыли с дороги А, а свои вагоны отправить в следующем периоде. В алгоритме это описывается следующим образом.

Если  $T_B \geq 0, y_i^* \leq y_i, y_i^* - y_i > T_B$ , то  $x_i^{**} = 0$

Таким образом, в каждый день  $i$ , анализируется количество вагонов на железной дороге В, готовых к отправке в порт С, и количество вагонов, прибывших с железной дороги А. Следуя алгоритму относительно различных вариантов развития лицо принимающее решение отправляет в направлении порта С оптимальное количество вагонов. В таком случае минимизируется количество вагонов, которые скапливаются на припортовой станции, так как не могут быть вовремя переработаны мощностями порта из-за ограничения перерабатывающей способности.

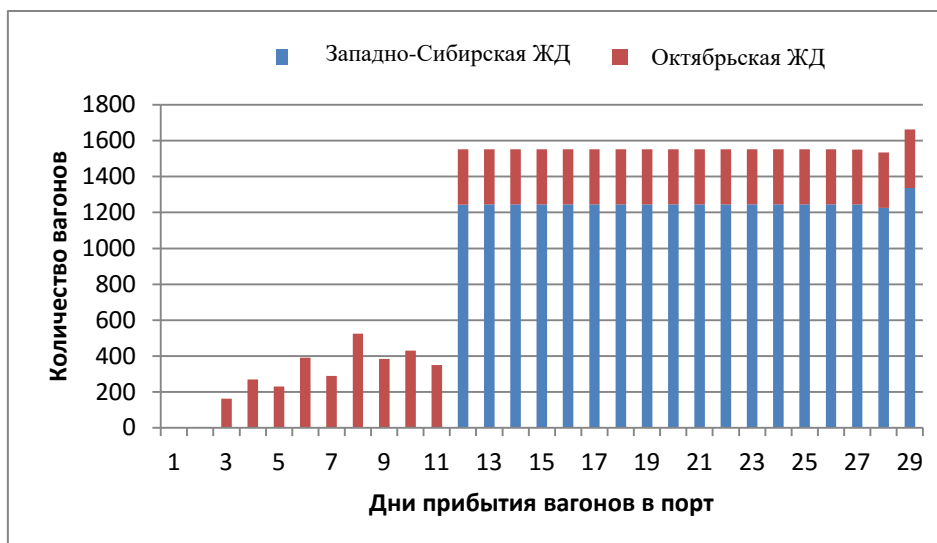
## **3.2 Применение Алгоритма-1 координации потоков**

### **3.3.1 Результаты применения Алгоритма-1 координации потоков**

В настоящей работе описывается применение алгоритма выравнивания потоков для трёх звеньев цепочки поставок: железной дороги А, с которой груз отправляется в направлении порта С через железную дорогу В. В качестве железной дороги А выступает Западно-Сибирская железная дорога, железной дороги В – Октябрьская железная дорога, порт С – порт Мурманск. Рассматриваемый период – февраль 2016 года. Ограничение перерабатывающей способности порта Мурманск – 1905 вагонов в день.

Ранее был найден оптимальный план погрузки в направлении порта Мурманск со всех железных дорог, результаты представлены в Приложениях 2-3. В данном плане представлено оптимальное количество вагонов для отправления в порт Мурманск с Октябрьской железной дороги для каждого дня  $i$ , а также оптимальное количество вагонов, которые должны прибыть на Октябрьскую железную дорогу с Западно-Сибирской в каждый день  $i$ , для последующей отправки в порт Мурманск -  $x_i^*$  и  $y_i^*$  соответственно, где  $i = \overline{1,29}$ . Далее представлены графики с указанным количеством прибывающих в порт вагонов с Западно-Сибирской и с Октябрьской железных дорог.

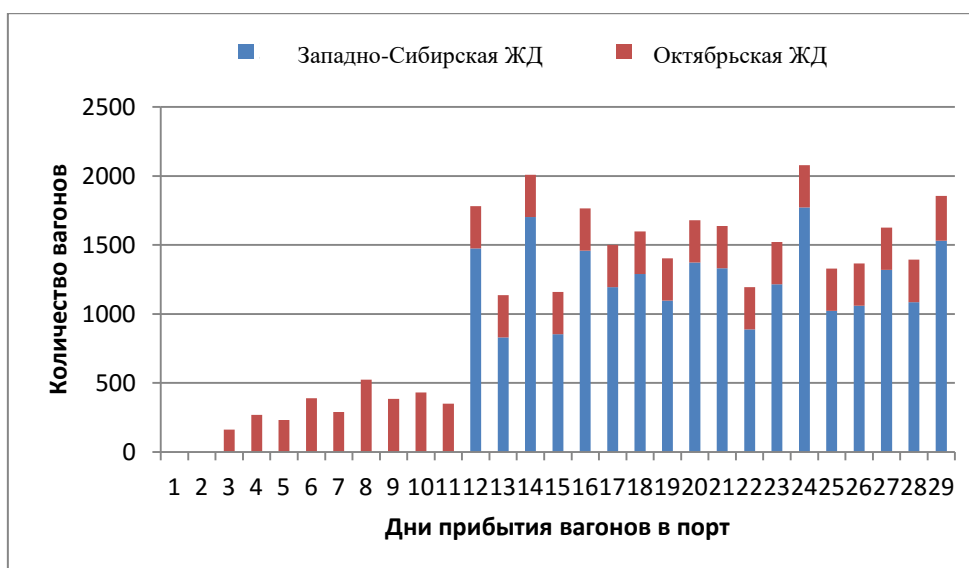
График прибытия вагонов с Западно-Сибирской и Октябрьской железных дорог в порт Мурманск в каждый день  $i$ , следуя оптимальному плану погрузки (Модель-1) представлен на Рисунке 5. Из графика видно, что, с учётом соблюдения нормативных сроков поставки, вагоны приходят в порт Мурманск равномерно.



**Рисунок 5** Ежедневное прибытие вагонов в порт – оптимальный план без отклонений

[Источник: выполнено автором]

Теперь предположим, что количество вагонов, прибывающих с Западно-Сибирской ЖД на Октябрьскую ЖД имеет стохастический характер, и случайное отклонение от оптимального значения составляет  $\pm 20\%$ . В таком случае график прибытия вагонов с Западно-Сибирской ЖД на Октябрьскую ЖД выглядит следующим образом (см. Рисунок 6).

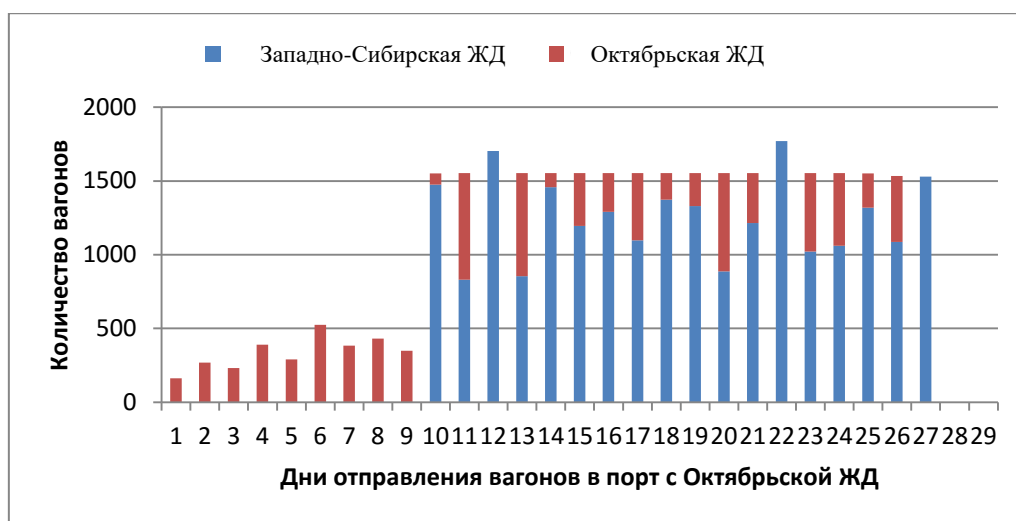


**Рисунок 6** Ежедневное прибытие вагонов в порт – оптимальный план с отклонениями, без использования алгоритма выравнивания потоков

[Источник: выполнено автором]

Как видно из графика, количество вагонов, прибывающих с двух железных дорог не раз превышают перерабатывающую способность порта Мурманск – 1905 вагонов. Это приводит к скоплению вагонов на припортовой станции, несвоевременным поставкам и соответствующим штрафам. По результатам проведения 10000 имитаций, в среднем количество таких вагонов составило 514, что повлечёт за собой большие штрафы со стороны ОАО «РЖД».

Теперь проведём имитацию с таким же отклонением от оптимального значения, но с использованием Алгоритма-1 координирования потоков. То есть на Октябрьской ЖД каждый день принимается решение о том, какие вагоны и в каком количестве отправлять в порт Мурманск. Результаты представлены на Рисунке 7.



**Рисунок 7** Ежедневное отправление вагонов в порт – оптимальный план с отклонениями, использован алгоритм выравнивания потоков

[Источник: выполнено автором]

Как видно из графика, поток вагонов, направляемый с Октябрьской ЖД в направлении порта Мурманск, стал более равномерным (предполагается, что с ЖД до порта соблюдаются нормативные сроки доставки). По результатам проведения 100000 имитаций число вагонов, которые не были переработаны мощностями порта вовремя, сократилось до 14 вагонов.

### 3.3.2 Анализ на чувствительность

В предыдущем параграфе в качестве примера для проверки применимости алгоритма было выбрано отклонение в количестве вагонов, прибывающих с железной дороги А на железную дорогу В  $\pm 20\%$ . Автором был проведён анализ на чувствительность с шагом в  $\pm 10$  от 0 до 100%. В качестве цели проведения такого анализа было необходимо установить, зависит ли эффективность алгоритма от увеличения отклонения в количестве вагонов, которые прибывают с железной дороги А на железную дорогу В. Под

эффективностью алгоритма в работе понимается сниженное количество вагонов, которые не могут быть вовремя переработаны портом, при использовании алгоритма в сравнении с количеством, полученным без использования алгоритма, выраженное в процентах. На рисунке 8 представлено то количество вагонов, которое приходит в порт с использованием и без использования алгоритма с учётом разных отклонений. Из графика видно, что количество простаивающих вагонов, которые не могут быть переработаны портом вовремя, увеличивается постепенно, достигая числа, которое почти в 4 раза превосходит перерабатывающую способность порта, при отклонении  $\pm 100\%$ . Тем не менее, при использовании алгоритма количество таких вагонов всегда ниже, что говорит о том, что применение алгоритма позволяет сокращать количество простаивающих вагонов при отклонении в количестве прибывающих вагонов от 0 до  $\pm 100\%$ .



**Рисунок 8** Анализ на чувствительность – количество вагонов, которые приходят в порт

[Источник: выполнено автором]

Несмотря на результаты, получаемые при использовании алгоритма, с увеличением предполагаемого отклонения его эффективность постепенно снижается.

Из графика, изображенного на рисунке 9, видно, что размах между максимальным и минимальным снижением количества вагонов с использованием алгоритма составляет 72%. То есть при увеличении отклонения от 0 до  $\pm 100\%$  эффективность алгоритма постепенно снижается на 72%.



**Рисунок 9** Анализ на чувствительность – эффективность применения алгоритма

[Источник: выполнено автором]

Интересно, что при отклонении  $\pm 10\%$  с применением алгоритма количество простаивающих вагонов снижается на 85%, что ниже, чем при отклонении  $\pm 20\%$  (в таком случае количество простаивающих вагонов снижается на максимальное значение - 97%). Это объясняется тем, что при минимальном отклонении количество простаивающих вагонов снижается до 9, а это именно то, количество вагонов, которое пришло ещё с прошлого периода, в котором не применялся ни оптимальный план (Модель-1) ни алгоритм координирования потоков. Таким образом, так как применение оптимального плана и алгоритма тестируется на ограниченном периоде – февраль 2016 года, 9 вагонов – это минимально возможное количество простаивающих вагонов в этом месяце. Следовательно, при отклонении  $\pm 10\%$  количество простаивающих вагонов может снизиться максимум на 85%, а при небольшом увеличении отклонения это значение достигает 97%, что представляет собой почти идеальный результат.

### **3.4 Направления для разработки Алгоритма-2 координации потоков**

Таким образом, используемый алгоритм координации потоков позволяет минимизировать количество вагонов, которое превышает суточную перерабатывающую способность терминалов. Тем не менее, можно выделить несколько направлений для разработки алгоритма, в котором бы учитывалось больше факторов для принятия решения о количестве отправляемых вагонов.

Во-первых, хоть алгоритм и учитывает случайные отклонения от сроков прибытия вагонов с железной дороги А на железную дорогу В, в Алгоритме-1 предполагается, что случайным является количество вагонов, а не на количество дней доставки. То есть концептуально эффект от возможной задержки поездов в пути учитывается, так как это отражается на количестве прибывающих вагонов – оно отличается от запланированного (согласно Модели-1), тем не менее правильнее было бы перейти от отклонения в количестве прибывающих вагонов к отклонению в количестве затраченных на перевозку дней.

Во-вторых, в настоящем алгоритме вагон рассматривается в качестве самостоятельной единицы, то есть мы управляем количеством вагонов вне зависимости от партий, в которые они формируются для отправления. Таким образом, в алгоритме предполагается, что можно расформировывать партии и управлять вагонами отдельно. Несмотря на то, что в алгоритме рассматривается один вид груза или, скажем, универсальный груз, что предполагает, что вагоны равноценны и могут заменять друг друга, необходимо учитывать тот факт, что партии формируются не только согласно плану погрузки ОАО «РЖД», но и потребностям грузоотправителя. Таким образом, необходимо перейти к рассмотрению в качестве управляемой единицы не вагона, а партии, состоящей из нескольких вагонов.

В-третьих, в настоящем алгоритме в случае несоблюдения запланированных объёмов, прибывающих с железной дороги А, в направлении порта задерживаются исключительно вагоны железной дороги В. Необходимо добавить критерий, по которому будет приниматься решение о том, какие вагоны отправлять. В качестве такого критерия может выступать штраф, который придётся заплатить грузоперевозчику в случае несвоевременной поставки груза. Если в алгоритм добавится критерий, по которому принимается решения, какие вагоны отправлять, задерживаться будут не только вагоны железной дороги В, но и железной дороги А. Соответственно, в алгоритме необходимо учитывать скопление вагонов железной дороги А на железной дороге В.

Все вышеперечисленные дополнения учитываются в Алгоритме-2 координации потоков, который представлен в следующем параграфе.

### **3.5 Разработка Алгоритма-2 координации потоков**

Главным отличием данного алгоритма от представленного ранее является переход на целевую функцию, выраженную в минимизации штрафов, которые грузоперевозчик – ОАО «РЖД» – платит за несвоевременную поставку. Таким образом, главной управляемой переменной выступает общий размер штрафов.

Алгоритм также рассматривает 3 звена цепочки перемещения вагонов – вагоны отправляются с железной дороги А в направлении порта С через железную дорогу В. Цепочка проиллюстрирована на Рисунке 3 ранее в настоящей работе.

Результатом применения данного алгоритма является оптимальное количество вагонов, консолидированных в партии, которые отправляются с железной дороги В в направлении порта С в каждый день  $j$ . Алгоритм необходимо применять в начале каждого периода – дня  $j$ , так как входные данные на каждый день зависят от решения, принятого в предыдущем периоде. Соответственно, результат применения алгоритма – оптимальное количество вагонов к отправке, выбранных по критерию максимального штрафа, актуален исключительно для периода (дня), в который алгоритм применяется. В следующем периоде, для получения результата, необходимо снова запускать алгоритм координации потоков.

### ***Переменные алгоритма***

Все вагоны, отправляемые с обеих железных дорог, рассматриваются в качестве партий. Предполагаем, что все вагоны, отправленные с железной дороги А в каждый день  $i$  – одна партия  $i'$ . Партии  $i'$  прибывают на железную дорогу В в день  $j$ , причём  $j = i + a'$ , где  $a'$  – количество дней, затраченных на перевозку груза с железной дороги А на железную дорогу В с учётом возможных отклонений в сроках доставки. Мы получаем данные значения путём наложения ошибки на заданный параметр  $a$  – нормативное количество дней на перевозку грузов с железной дороги А на железную дорогу В. В отличие от рассматриваемого выше Алгоритма-1, отклонение применяется относительно количества дней перевозки, а не количества прибывающих на железную дорогу В вагонов.

Вагоны, которые запланированы к отправке в порт с железной дороги В согласно оптимальному плану (Модель-1) в каждый день  $j$  представляет собой одну партию  $j'$ .

$V_i$  - Количество вагонов в партии  $i'$

$V_j$  - Количество вагонов в партии  $j'$

$u_j^*$  - Количество вагонов с железной дороги А, которые должны быть отправлены с железной дороги В в день  $j$  согласно оптимальному плану погрузки (Модель-1)

$x_j^*$  - Количество вагонов с железной дороги В, которые должны быть отправлены с железной дороги В в день  $j$  согласно оптимальному плану погрузки (Модель-1)

$DD_{i'}$  - Количество дней задержки отправления в порт С для каждой партии  $i'$ , отправленной с железной дороги А, где

$$DD_{i'} = j - (i' + a)$$



$DD_{j'}$  - Количество дней задержки отправления в порт С для каждой партии  $j'$ , которая должна быть отправлена с железной дороги В, где

$$DD_{j'} = j - j'$$

$F_{i'}$  - Штраф для каждой партии  $i'$

$F_{j'}$  - Штраф для каждой партии  $j'$

$P_j$  – Количество вагонов, которые были отправлены в порт С в день  $j$

Неотправленные вовремя партии с железной дороги А, которые находятся на железной дороге В на начало дня  $j$ :

$$T_A = \{1, \dots, i'\}$$

Неотправленные вовремя партии, которые принадлежат железной дороге В и находятся там на начало дня  $j$ :

$$T_B = \{1, \dots, j'\}$$

$b_{i'}$  – управляемая бинарная переменная для каждой партии  $i'$ , где 1 – партия остаётся на железной дороге В ещё на 1 день, то есть в день  $j$  в порт С не отправляется; 0 – партия отправляется в порт С в день  $j$

$b_{j'}$  – управляемая бинарная переменная для каждой партии  $j'$ , где 1 – партия остаётся на железной дороге В ещё на 1 день, то есть в день  $j$  в порт С не отправляется; 0 – партия отправляется в порт С в день  $j$

### **Алгоритм-2 координации потоков**

- 1) Если  $DD_{i'} > 0$ , тогда  $F_{i'} = (DD_{i'} + b_{i'}) * V_i^i$   
 Если  $DD_{j'} > 0$ , тогда  $F_{j'} = (DD_{j'} + b_{j'}) * V_j^j$
- 2) Если  $b_{i'} = 0$ , тогда  $P_j$  увеличивается на значение  $V_i^i$   
 Если  $b_{j'} = 0$ , тогда  $P_j$  увеличивается на значение  $V_j^j$
- 3) Если  $b_{i'} = 1$ , тогда  $i' \in T_A$   
 Если  $b_{j'} = 1$ , тогда  $j' \in T_B$

### **Ограничения**

В модели действует ограничение на максимальное число вагонов, которое может быть отправлено в день  $j$  в порт С. Предположим, что максимально допустимое количество вагонов равно сумме запланированных к отправке вагонов согласно оптимальному плану погрузки (Модель-1).

$$P_j \leq y_j^* + x_j^*$$

Если вагон не приходит грузополучателю в течение 11-ти дней, грузоперевозчик платит полную 100% стоимость перевозки, то есть, фактически, осуществляет перевозку бесплатно. Таким образом, максимальный штраф, который может заплатить грузоперевозчик – это 1 д.е. Поэтому необходимо ввести ограничение на количество дней, которое партия может храниться на железнодорожной дороге В до отправления в порт С.

$$DD_{i'}, DD_{j'} \leq 11$$

Также необходимо обозначить, что переменные  $b_{i'}$  и  $b_{j'}$  могут принимать исключительно значение 0 и 1.

$$b_{i'}, b_{j'} - \text{бинарные переменные}$$

Предполагается, что в случае одинаковых штрафов для всех рассматриваемых в данном периоде партий, принимается решение об отправке в порт партии с максимальным количеством вагонов. Также, предположением алгоритма выступает соблюдение нормативных сроков поставки при перемещении партии с железной дороги В в порт С.

### ***Целевая функция***

Главной целевой функцией выступает минимизация суммы штрафов за несвоевременную поставку вагонов грузополучателю в порт С.

$$\min (\sum F_{i'} + \sum F_{j'})$$

## **3.6 Применение Алгоритма-2 координации потоков**

### **3.6.1 Описание условий применения Алгоритма-2 координации потоков**

Для проведения тестирования Алгоритма-2 также как и для проверки модели оптимального плана погрузок и Алгоритма-1 координации потоков, который учитывает отклонение в количестве прибывающих вагонов, в качестве временного периода рассматривается один месяц – февраль 2016 года. Предполагается, что вагоны отправляются с Западно-Сибирской железной дороги в порт Мурманск, при этом проходя через станции Октябрьской железной дороги. Предполагаемый нормативный срок для поставки вагонов с Западно-Сибирской на Октябрьскую железную дорогу составляет 11 дней, однако, фактический срок доставки может отклоняться от нормативного в заданных пределах – предполагается, что вагоны могут прийти на Октябрьскую железную дорогу раньше установленного срока или задержаться в пути и прийти позже планируемой даты. Вагоны, консолидированные в партии, отправляются с Западно-Сибирской дороги в установленные даты и в запланированном объёме согласно оптимальному плану погрузки (Модель-1). С Октябрьской железной дороги в направлении порта Мурманск также

запланировано к отправлению определённое количество вагонов согласно оптимальному плану погрузки (Модель-1). Предполагается, что компания выплачивает штраф в размере 1 условной единицы за 1 вагон, задерживающийся на 1 день.

График отправления и прибытия партий с Западно-Сибирской дороги на Октябрьскую железную дорогу согласно оптимальному плану представлен на рисунке 10. По горизонтали указаны дни отправления, по вертикали дни прибытия вагонов.

j, i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
12	1244,1																	
13		1245,9																
14			1245,9															
15				1245,9														
16					1246													
17						1246												
18							1246											
19								1246										
20									1246,1									
21										1246,1								
22											1246,1							
23												1246,1						
24													1246,1					
25														1246				
26															1245,7			
27																	1245	
28																		1226
29																		1336,2

**Рисунок 10** График отправления и прибытия партий с Западно-Сибирской на Октябрьскую железную дорогу

[Источник: выполнено автором]

Дни отправления ограничиваются 18 числом, так как при отправлении начиная с 19 числа, при соблюдении или превышении нормативного срока поставки партия прибывает на Октябрьскую железную дорогу уже в марте, а в данном случае в качестве рассматриваемого периода выступает один месяц – февраль. Дни прибытия партии рассматриваются только с 12 февраля, так как всё, что прибывает до этого, было отправлено в предыдущем периоде – в январе, и в данном графике не отображается, так как принято за константу.

Тестирование Алгоритма-2 координации потоков проводилось автором в MS Excel, было проведено 10 имитаций с различными отклонениями от нормативного срока поставки. По результатам всех проведённых имитаций, применение Алгоритма-2 координации потоков позволяет существенно снизить объём штрафов, которые компания в качестве перевозчика должна выплатить грузоотправителю и/или грузополучателю за несоблюдение сроков поставки. Тем не менее, в отличие от Алгоритма-1, в котором учитывается отклонение от объёма поставляемых вагонов, а не от нормативного срока доставки, не было выделено взаимосвязи между величиной отклонения от нормативного срока доставки и получаемых результатов. Отсутствие такой зависимости связано с тем, что объём выплачиваемых штрафов зависит от того, приходят партии постепенно (пусть

даже не в запланированном порядке), или несколько партий приходят сразу в один день. Во втором случае, из-за ограниченной пропускной способности терминалов порта, объём прибывших одновременно партий ещё несколько дней стоит в ожидании переработки портом, постепенно уменьшаясь на то количество партий, которое может быть переработано портом за один день. Пока несколько партий стоят в ожидании своей очереди, подходят следующие партии, которые также попадают в образовавшуюся пробку. Таким образом, максимальное количество штрафов приходится выплачивать в случае, когда несколько партий прибывают одновременно, а не друг за другом. Так как рассматриваемый временной период составляет всего месяц, было рассмотрено только два варианта отклонений от нормативного срока поставки  $\pm 20\%$  и  $\pm 40\%$ . Возможно при рассмотрении большого временного периода с увеличенным отклонением от нормативного срока поставки, можно будет проследить зависимость между установленным размером отклонения и получаемыми результатами.

Всего в порт Мурманск в феврале 2016 года приходили вагоны с 7 железных дорог: Октябрьской, Западно-Сибирской, Красноярской, Северной, Южно-Уральской, Свердловской, Приволжской, Московской. Однако, основными железными дорогами остаются рассматриваемые Западно-Сибирская и Октябрьская – с них в рассматриваемом периоде пришло максимальное количество вагонов. Все прибывающие партии разных размеров – от 63 до 1653 вагонов в партии. Согласно оптимальному плану средний размер партии с Западно-Сибирской железной дороги – 1246 вагонов, Октябрьской – 307 вагонов.

Предполагается, что отправленной считается партия, которая полностью была переработана мощностями порта. Если в один день порт успевает переработать партию только частично, считается, что она ещё не отправлена, и на неё начисляется штраф за ещё один день простоя в полном объёме.

При использовании Алгоритма-2 координации потоков, когда на Октябрьскую железную дорогу с Западно-Сибирской приходит более чем одна партия, происходит сравнение всех партий, которые на текущий момент находятся на дороге (и прибывшие с Западно-Сибирской и готовые к отправке с Октябрьской) по размерам штрафов, которые обязан будет заплатить перевозчик в случае задержки партии ещё на один день. Отправляются партии, задержка которых принесёт наибольший штраф, соблюдая ограничение, установленное оптимальным планом погрузки, чтобы вагоны не скапливались у порта.

Таким образом, в рассматриваемом периоде и согласно оптимальному плану погрузки, с Октябрьской железной дороги оптимально отправлять в порт одну партию Западно-Сибирской дороги (в среднем 1246 вагонов в партии) и одну партию Октябрьской

дороги (в среднем 307 вагонов в партии) для соблюдения пропускной способности порта 1905 вагонов в сутки. Фактически в алгоритме сравниваются штрафы для каждой партии, которые зависят от размеров партии и от количества дней задержки, и отправляет в порт самую «дорогую» партию. Партии, которые остались на Октябрьской железной дороге также рассматриваются в следующем периоде. Благодаря тому, что алгоритм, следуя ограничениям, позволяет отправить только по одной партии с двух железных дорог, оптимально запланированное количество вагонов к отправке не превышает, и к порту не подходят более 1905 вагонов в сутки.

Перевозчик также платит за те партии, которые задерживаются на Октябрьской железной дороге, но благодаря тому, что в порт они отправляются равномерно и пропускная способность порта не превышает, вагоны не скапливаются у порта и не образуют пробку, координирование которой влечёт за собой большие штрафы.

Рассмотрим подробнее результаты, полученные при тестировании Алгоритма-2 координации потоков с двумя вариантами отклонения от нормативного срока поставки.

### 3.6.2 Результаты тестирования Алгоритма-2 координации потоков

Предположим, что партии могут идти с Западно-Сибирской железной дороги на Октябрьскую железную дорогу от 8 до 14 дней, что составляет примерно  $\pm 20\%$  при нормативном сроке доставки 11 дней. По результатам проведения 5 имитаций, средний процент снижения объёма штрафов при использовании алгоритма составляет 60%.

В качестве примера на рисунке 11 представлен график отправки и прибытия вагонов, полученный в результате одной из имитаций со сроком доставки от 8 до 14 дней.

j, i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	1244,1																	
11		1245,9																
12																		
13			1245,9															
14																		
15				1245,9		1246												
16																		
17					1246				1246,1									
18								1246										
19																		
20							1246			1246,1	1246,1							
21																		
22												1246,1						
23														1246				
24																		
25																		
26																		
27													1246,1					
28																1245		1336,2
29															1245,7		1226	

**Рисунок 11** График отправления и прибытия партий с Западно-Сибирской на Октябрьскую железную дорогу с учётом отклонений в сроках доставки

[Источник: выполнено автором]

После прибытия на Октябрьскую железную дорогу партии сразу отправляются в порт Мурманск и прибывают в порт через 2 дня после отправления. Помимо партий

Западно-Сибирской дороги в порт Мурманск также приходят партии Октябрьской и ещё ряда железных дорог.

В таблице 3 представлено количество прибывающих в порт Мурманск партий и содержащихся в них вагонов для каждого дня, начиная с 10 февраля.

**Таблица 3** Прибытие партий в порт Мурманск с нескольких железных дорог

День прибытия в порт	Количество партий	Общее количество вагонов
10	4	2910
11	3	2781
12	1	307
13	2	1553
14	1	307
15	3	2799
16	1	307
17	3	2799
18	2	1553
19	1	307
20	4	4045
21	1	307
22	2	1553
23	2	1553
24	1	307
25	1	307
26	1	307
27	2	1552
28	3	2890
29	5	4703

[Источник: выполнено автором]

Согласно оптимальному плану с 12 февраля в порт Мурманск каждый день приходит 2 партии – одна с Западно-Сибирской, вторая с Октябрьской дороги, с общим средним количеством вагонов 1553 шт. Тем не менее, при условии наличия отклонения от нормативного срока доставки партии Западно-Сибирской дороги не приходят в запланированный день (например, дни 12, 14, 16 из Таблицы 2), либо приходят сразу по несколько партий (например, 20 февраля пришло сразу 3 партии, которые были задержаны до этого или наоборот пришли раньше планируемой даты). В период с 10 по 29

февраля количество прибывших вагонов 6 раз превысило перерабатывающую способность порта – 1905 вагонов, иногда даже более чем в 2 раза. Таким образом, в рассматриваемом случае общий размер штрафа, который заплатит перевозчик за несвоевременную поставку грузов, составит 20981 д.е.

При применении Алгоритма-2 координации потоков в случае необходимости партии задерживаются на Октябрьской железной дороге, и в порт отправляется строго количество вагонов, не превышающее запланированное, за счёт чего не образуются скопления вагонов. В результате проведения имитации с использованием алгоритма, в рассматриваемом случае штрафы за задержку партий на Октябрьской железной дороге составили 3737 д.е. За счёт того, что происходит координирование партий на Октябрьской железной дороге до отправления в порт, штрафы за несвоевременную поставку снизились на 82%.. Среди проведённых имитаций, данный результат представляет максимальное значение. Существенное снижение произошло из-за того, что до применения алгоритма большое количество партий приходило в порт в один день, из-за чего формировались большие скопления вагонов, и затруднялось продвижение партий в порт. С использованием алгоритма партии приходили в порт равномерно, не превышая перерабатывающую способность порта.

Рассмотрим ситуацию, в которой партии с Западно-Сибирской дороги могут идти на Октябрьскую железную дорогу от 7 до 16 дней (примерно  $\pm 40\%$  от нормативного срока доставки 11 дней). С учётом такого отклонения было также проведено 5 имитации со средним результатом 60% снижения объёма штрафов с применением алгоритма. Далее представлены результаты одной из проведённых имитаций.

После добавления отклонения от нормативного срока поставки, количество вагонов, прибывающих в порт Мурманск, за 20 дней 7 раз превышало перерабатывающую способность порта, из-за чего партии создали пробку и долго не могли быть переработаны мощностями порта. Общий штраф составил 27940 д.е. При использовании алгоритма партии подходят к порту равномерно, не превышая перерабатывающей способности порта. Размер штрафа с использованием алгоритма снизился на 64% и составил 10107 д.е. Результаты всех проведенных имитаций представлены в Приложении 5.

### **3.7. Выводы и практические рекомендации**

На сегодняшний день планирование подвода вагонов на припортовые станции и их координация выполняются в ОАО «РЖД» недостаточно эффективно, принося большие штрафы за скопление вагонов на подходе в порт и, соответственно, несвоевременные поставки грузов. Рекомендации по планированию продвижения потока вагонов в

направлении порта с учётом ограничения железнодорожной инфраструктуры и перерабатывающей способности порта были предложены автором в ранней работе в виде математической модели для построения оптимального плана погрузок. Важным является тот факт, что для построения оптимального плана необходимо учитывать потоки вагонов со всех железных дорог, то есть перейти от локального планирования на уровне каждой дороги к централизованному планированию.

Следующим шагом является координация потоков согласно оптимальному плану с учётом случайных отклонений в нормативных сроках поставки – задержки партий в пути или наоборот прибытию вагонов раньше запланированного периода. По результатам исследования, можно сделать вывод, что в случае координирования потоков также необходимо действовать централизованно и осуществлять распределение вагонов до их направления в порт на одном из звеньев цепочки (станции). Для того чтобы снизить количество простаивающих вагонов, которые не могут быть вовремя переработаны мощностями порта, и соответствующие штрафы за задержку, при планировании отправки вагонов в направлении порта в разрезе филиалов - железных дорог необходимо учитывать объём вагонов, прибывших с предшествующей железной дороги и корректировать запланированные к отправлению партии в случае необходимости. Автором предложено два алгоритма корректировки отправляемых объёмов с учётом партий, прибывающих с предшествующей в направлении порта железной дороги.

Алгоритм-1 координации потоков предлагает корректировать объёмы отправляемых вагонов, основываясь на оптимально запланированном к отправке в порт суммарном количестве вагонов. Железная дорога (станция) принимает решение, сколько вагонов отправлять в данном периоде, исходя исключительно из количества прибывших с предшествующей дороги вагонов и запланированного оптимального плана. Данная железная дорога задерживает свои вагоны или отправляет дополнительные в случае необходимости. Как показали результаты тестирования, применение такого алгоритма позволяет существенно снизить количество простаивающих вагонов, которые не могут быть вовремя переработаны мощностями порта.

В Алгоритме-2 координации потоков рассматриваются все партии, которые находятся в данном периоде на железной дороге (станции), принимающей решение о дальнейшей отправке в порт, на предмет штрафов, которые заплатит компания в случае задержки партии ещё на 1 день. Таким образом, необходимо перейти к централизованному принятию решений, где не так важно, с какой железной дороги прибыла партия, за задержку которой будет выплачен штраф, а важнее минимизировать общее количество таких штрафов для ОАО «РЖД». Соответственно, в Алгоритме-2 в



рассматриваемом периоде в порт отправляются те партии, за которые были бы выплачены максимальные штрафы в случае задержки на ещё один день, независимо от того, когда и с какой железной дороги они прибыли. По результатам тестирования, централизованное принятие решения с целью минимизации общего объёма штрафов за несвоевременную поставку, позволяет снизить объём штрафов в среднем на 60%.

## Заключение

На сегодняшний день многие участники транспортно-логистического рынка используют мультимодальные перевозки с целью повышения уровня гибкости для потребителя и, соответственно, уровня предоставляемых услуг. Мультимодальная перевозка «железная дорога - море» играет ключевую роль, так как выступает не только средством получения дохода для ОАО «РЖД», но и поддержания экономического развития Российской Федерации, так как в основном железной дорогой в адрес портов отправляются грузы для экспорта в другие страны.

В ходе выполнения настоящей работы, была проанализирована деятельность компании ОАО «РЖД» в направлении грузовых перевозок, проведён анализ внешней и внутренней среды, определены узкие места в основных бизнес-процессах касательно планирования объёмов грузов в адрес портов и координирования их потоков. В итоге была сформулированная проблемная ситуация, требующая решения – неэффективность существующего метода планирования отгрузок в направлении портов с учётом случайных отклонений от нормативных сроков доставки. На сегодняшний день из-за неравномерного подвода вагонов на припортовую станцию образуются большие скопления вагонов, ожидающих отправления в порт, но их количество значительно превышает суточную перерабатывающую способность терминалов порта, что затрудняет дальнейшее продвижение. В результате таких скоплений партии вагонов не могут быть переработаны портом в срок, который обговорён с грузоотправителем и грузополучателем, из-за чего ОАО «РЖД» выплачивает штрафы за несвоевременную поставку. Иногда штрафы могут достигать до 100% стоимости перевозки. Анализ внутренней и внешней среды холдинга ОАО «РЖД» подтвердил необходимость решения задачи усовершенствования методов управления продвижением потока вагонов в адрес портов с целью снижения штрафов за несвоевременные поставки.

Следующим шагом стал обзор исследований посвященных мультимодальным перевозкам. Научным сообществом в основном изучаются подходы к решению проблемы продвижения потока вагонов в адрес портов на стратегическом уровне. Одним из методов выступает проектирование инфраструктуры транспортной сети для достижения бесперебойного перемещения грузов между её звеньями. Частным случаем задачи проектирования сети является постепенно набирающая популярность концепция «сухих портов», которая предполагает перемещения части функций морских портов на мощности, отдалённые от побережья, для их разгрузки. Тем не менее, несмотря на подтверждённую эффективность применения данных методов, их реализация требует значительных

инвестиций и времени на разработку и внедрение, из-за чего автором было принято решение не использовать данные методы в дальнейшем исследовании. Также в главе анализа подходов к решению обозначенной проблемы представлено описание математической модели оптимизации планирования отгрузок в направлении портов, разработанной автором ранее. Данная математическая модель является инструментом планирования объёмов в адрес портов с учётом инфраструктурных ограничений: перерабатывающей способности терминалов порта и пропускной способности железных дорог. Тем не менее, модель предполагает соблюдение нормативных сроков доставки и не учитывает возможность несвоевременного подвода вагонов. Таким образом, автор делает вывод о необходимости разработки алгоритма координирования потока вагонов в условиях несоблюдения нормативных сроков доставки, основанный на оптимальном плане отгрузок, предложенном автором ранее.

В завершающей главе настоящей работы представлено два алгоритма координации потоков, которые позволяют минимизировать количество вагонов на припортовой станции, которые не могут быть вовремя переработаны мощностями терминала, и соответствующие штрафы за несвоевременную поставку. Алгоритм-1 учитывает случайные отклонения в объёмах прибывающих поставок. В результате применения Алгоритма-1 принимается решение о корректировке количества вагонов к отправлению в адрес порта с учётом количества вагонов прибывающих с предшествующей станции. Тестирование с использованием имитационной модели подтвердило эффективность Алгоритма-1: при его применении существенно снижается (до 97%) количество простаивающих вагонов, которые не могут быть вовремя переработаны портом.

Алгоритм-2 координации потоков учитывает случайные отклонения от нормативных сроков поставки в пути между звеньями, из-за чего партии вагонов приходят несвоеременно. Основанием для принятия решения о количестве вагонов к отправке в порт выступает размер штрафов, которые заплатит ОАО «РЖД», в случае задержки конкретной партии ещё на один день, при этом сравниваются все партии, который на начало периода находятся на железной дороге (станции), где принимается решение. Тестирование алгоритма показало, что его применение позволяет снизить размер штрафов за несвоевременные поставки в среднем на 60%.

При разработке методов управления продвижения потока вагонов в адрес портов автор пришёл к выводу, что для эффективного контроля и координации потока вагонов в направлении портов, необходимо, чтобы эти процессы проходили централизованно, и решения принимались с учётом общего блага ОАО «РЖД», а не отдельных филиалов - железных дорог.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года»: Распоряжение Правительства РФ от 17.06.2008 № 877-р: Дата официального опубликования: 30.03.2011
2. Берг Д.Б. Модели жизненного цикла: учебное пособие / Берг Д.Б., Ульянова Е.А., Добряк П.В. // Изд-во Урал – 2014. - с. 29
3. Галин А.В. Сухие порты как часть инфраструктуры. Направления развития / Галин А.В. // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – №2(24) – С. 87-92
4. Левкин Г. Логистика: теория и практика / Левкин Г. – Феникс, 2009. – 25 с.
5. Лукьянова, О. О конкуренции железнодорожного и автомобильного транспорта на рынке грузовых перевозок / Лукьянова О., Хусафинов Ф. // Научно-практический альманах «Вектор транспорта» – 2014. – №2 – С. 28-43.
6. Стратегия развития холдинга "РЖД" на период до 2030 года (основные положения) [Электронный ресурс] // ОАО РЖД. – Режим доступа: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=6396#4702902](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396#4702902) (дата обращения: 22.04.2017).
7. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации : Федеральный закон от 10.01.2003 N 18-ФЗ (ред. от 06.04.2015)
8. «Платон» идёт на повышение [Электронный ресурс] // Электронное периодическое издание «Ведомости». – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2016/12/13/669340-platon-idet> (дата обращения: 07.04.2017).
9. Беспилотные грузовики к 2018 году поедут от Москвы до Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] // Электронное периодическое издание «Ведомости». – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2015/10/23/614036-bespilotnie-gruzoviki> (дата обращения: 22.04.2017).
10. Ведомости – Электронное периодическое издание [Электронный ресурс]. – М: Электронное периодическое издание «Ведомости», 2017 -. – Режим доступа: <http://www.vedomosti.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

11. Влияние санкций и рецессии на российский рынок логистических услуг [Электронный ресурс] // Информационное агентство «РЖД - партнёр». – Режим доступа: <http://www.rzd-partner.ru/logistics/news/vliianie-sanktsii-i-retsessii-na-rossiiskii-rynok-logisticheskikh-uslug/> (дата обращения: 07.04.2017).
12. Годовой отчёт ОАО «РЖД Логистика» за 2013 год [Электронный ресурс] // ОАО «РЖД Логистика». – Режим доступа: <http://www.rzdlog.ru/upload/iblock/58e/58e9a3b195f8b92edca3ea1ee9a2356a.pdf> (дата обращения: 10.04.2017)
13. Депо для двоих [Электронный ресурс] // Медиахолдинг «Эксперт». – Режим доступа: <http://expert.ru/ural/2013/34/depo-dlya-dvoih/> (дата обращения: 22.04.2017).
14. Динамика грузоперевозок в России [Электронный ресурс] // Бюллетень социально-экономического кризиса в России: Декабрь 2015. – Режим доступа: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/7400.pdf> (дата обращения: 10.04.2017)
15. Индексы тарифов на грузовые перевозки [Электронный ресурс] Государственная статистика ЕМИСС. – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/31076> (дата обращения: 07.04.2017).
16. Информационно-справочный портал «Железнодорожные перевозки» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cargo-report.info/> (дата обращения: 10.04.2017)
17. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана
18. Обзор рынка грузоперевозок – 2015: статистика и тенденции [Электронный ресурс] // Информационно-аналитическое сетевой издание «ПРОВЭД». – Режим доступа: <http://xn--b1ae2adf4f.xn--p1ai/analytics/research/32406-obzop-pynka-gpuzopepevozok-2015-statistika-i-tendentsii.html> (дата обращения: 07.04.2017).
19. Онлайн карта железных дорог России, стран Балтии и СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vagonnik.net.ru/> (дата обращения: 14.03.2017)
20. Официальный сайт «РЖД» [Электронный ресурс]. – М.: ОАО «РЖД», 2017 - . – Режим доступа: <http://rzd.ru/>, свободный. – Загл. с экрана

21. Помесячная динамика экспорта и импорта товаров [Электронный ресурс] // Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики.  
– Режим доступа: [https://dcenter.hse.ru/data/2017/03/21/1170074710/exp\\_imp\\_17-01.pdf](https://dcenter.hse.ru/data/2017/03/21/1170074710/exp_imp_17-01.pdf) (дата обращения: 07.04.2017)
22. Помесячная динамика экспорта и импорта товаров [Электронный ресурс] // Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики.  
– Режим доступа: [https://dcenter.hse.ru/data/2017/03/21/1170074710/exp\\_imp\\_17-01.pdf](https://dcenter.hse.ru/data/2017/03/21/1170074710/exp_imp_17-01.pdf) (дата обращения: 07.04.2017)
23. Промышленное производство: индексы производства [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industry/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industry/#) (дата обращения: 07.04.2017)
24. Промышленное производство России может вырасти на 3-4% [Электронный ресурс] // Информационное агентство «Regnum» . – Режим доступа: <https://regnum.ru/news/2240940.html> (дата обращения: 22.04.2017).
25. РБК – Деловое информационное пространство [Электронный ресурс]. – М.: РосБизнесКонсалтинг, 2017 -. – Режим доступа: <http://www.rbcholding.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
26. Рейтинг крупнейших транспортно-логистических компаний России [Электронный ресурс] // Аналитический центр «Эксперт». – Режим доступа: <http://www.acexpert.ru/analytics/ratings/rejting-krupneyshih-transportno-logisticheskikh-kom.html> (дата обращения: 22.04.2017).
27. Российские железные дороги [Электронный ресурс] // Википедия: Свободная энциклопедия. – Режим доступа: [en.wikipedia.org/wiki/Rail\\_transport\\_in\\_Russia](http://en.wikipedia.org/wiki/Rail_transport_in_Russia) (дата обращения: 07.04.2017).
28. Российско-китайские экономические отношения. Досье. [Электронный ресурс] // Информационное агентство России «ТАСС». – Режим доступа: <http://tass.ru/info/1956459> (дата обращения: 07.04.2017).
29. Сужение колеи [Электронный ресурс] // Газета «Коммерсантъ». – Режим доступа: [http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE\\_ID=2&layer\\_id=5050&id=281413](http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=5050&id=281413) (дата обращения: 22.04.2017).

30. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 10.04.2017)
31. «Эксперт» - еженедельный журнал [Электронный ресурс]. - М.: Медиахолдинг «Эксперт», 2016 - . – Режим доступа : <http://expert.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
32. Bentaleb, F. Dry Port Development: A Systematic Review / Bentaleb, F., Mabrouki, C. Semma A. // Journal of ETA Maritime Science. – 2015. – V. 3(1) – P. 75 – 96
33. Bentaleb, F. Dry Port location problem: a hybrid multi-criteria approach / Bentaleb, F., Mabrouki, C. Semma A. // Journal of ETA Maritime Science. – 2016. – V. 4(1) – P. 73 – 90
34. Bentaleb, F. Dry Port-Seaport system development: Application of the product lifecycle theory / Bentaleb, F., Mabrouki, C. Semma A. // Journal of Transportation and Logistics. – 2016. – V. 1(2) – P. 116 - 128
35. Bichou, K. A logistics and supply chain management approach to port performance measurement / Bichou, K , Gray, R. // Maritime Policy & Management. – 2004. – V. 31 (1) – P. 47–67.
36. Caris, Cathy Macharis. Planning Problems in Intermodal Freight Transport: Accomplishments and Prospects / An Caris,Cathy Macharis, Gerrit K. Janssens //Transportation Planning and Technology. – 2008. – 31:3, P. 277-302.
37. Kehoe D.F.. New paradigms in planning and control across manufacturing supply chains: tilisation of Internet technologies / Kehoe D.F.,mN.J. Boughton // International Journal of Operations & Production Management – 2001. – V. 21 (5/6) – P. 582-593
38. Kapros, S. Multicriteria approach to the evaluation of intermodal freight villages / Kapros, S., Panou, K. & Tsamboulas, D. A. // Transportation Research Record. – 2005. – P. 56-63.
39. Macharis, C. Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review / Macharis, C., Bontekoning, Y. M. // European Journal of Operational Research. – 2004. – №153 – P. 400-416.
40. Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review / Macharis, C. & Bontekoning, Y. M. //, European Journal of Operational Research.- 2004, 153, -pp. 400 416.

41. Planning Problems in Intermodal Freight Transport: Accomplishments and Prospects / An Caris, Cathy Macharis & Gerrit K. Janssens // Transportation Planning and Technology. – 2008. – 31:3, p. 277-302.
42. Regulatory reform of railways in Russia [Электронный ресурс] // International Transport Forum - OECS. – 2004. – P. 17-27
43. Roso, V. The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland / Woxenius, J. and K. Lumsden // Journal of Transport Geography. – 2009. – V. 17 - P. 338-345
44. Sakhanova M. Planning, control and coordination methods for freight rail transportation to seaport terminals / Sakhanova M., Zyatchin A. // 14th CEMS Research Seminar on Supply Chain Management : Supply Chain Management – Recent Trends and Future Perspectives. – 2017. – P. 20-24
45. Terminology in Logistics. Terms and Definitions / European Logistics Association // Glossary of Logistics Terms. – 2005. – P. 54
46. Woxenius J. Alternative transport network designs and their implications for intermodal transshipment technologies / J. Woxenius // European Transport / Trasporti Europei. – 2007. – N. 35. – P. 27-45.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Фактический план подвода вагонов на припортовую станцию Мурманск (эксп.) в феврале 2016 года.

День	1 дорога	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Пр. Изб.	Недостаток	Избыток	Сумма	Цел. Ф-я	398
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1905	=	1905
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	21	0	1905	=	1905
3	0	0	0	0	0	0	0	0	243	0	0	0	0	0	0	51	0	1905	=	1905
4	0	0	0	0	0	0	0	0	375	0	0	0	0	0	0	37	0	1905	=	1905
5	0	0	0	0	0	0	0	0	254	0	0	111	0	0	0	37	0	1905	=	1905
6	0	0	0	0	0	0	0	0	220	0	0	0	0	0	0	386	0	1905	=	1905
7	0	0	0	0	0	0	0	0	375	0	0	0	0	0	0	113	0	1905	=	1905
8	0	0	0	0	0	0	0	0	497	129	0	0	0	0	0	358	0	1905	=	1905
9	0	0	0	0	0	0	0	0	266	0	171	0	0	0	0	356	0	1905	=	1905
10	0	0	0	0	0	0	0	0	349	129	171	0	0	0	0	203	0	1905	=	1905
11	0	0	0	0	0	0	0	0	247	0	171	0	0	0	0	312	0	1905	=	1905
12	0	0	0	0	1232	0	0	0	608	129	0	0	0	0	0	0	65	1905	=	1905
13	0	0	0	0	1327	0	0	0	259	0	171	30	0	0	65	53	0	1905	=	1905
14	0	0	0	0	1094	0	0	148	532	0	0	129	0	0	0	2	0	1905	=	1905
15	0	0	0	0	1200	0	0	0	465	0	171	129	0	0	0	0	60	1905	=	1905
16	0	0	0	0	1117	0	0	0	261	0	171	129	0	0	60	166	0	1905	=	1905
17	0	0	0	0	1091	0	0	0	474	0	0	125	0	0	0	215	0	1905	=	1905
18	0	0	0	0	983	0	0	0	127	129	171	0	0	0	0	495	0	1905	=	1905
19	0	0	0	0	1302	0	0	0	217	0	88	0	0	0	0	298	0	1905	=	1905
20	0	0	0	0	927	0	0	0	129	129	83	0	0	0	0	636	0	1905	=	1905
21	0	0	0	0	1334	0	0	0	444	129	171	0	0	0	0	0	173	1905	=	1905
22	0	0	0	0	1001	0	0	0	153	0	171	0	0	0	173	407	0	1905	=	1905
23	0	0	0	0	1142	0	0	0	240	0	171	0	0	0	0	351	0	1905	=	1905
24	0	0	0	0	1244	0	0	0	134	0	0	0	0	0	0	527	0	1905	=	1905
25	0	0	0	0	1343	0	0	0	351	0	171	0	0	0	0	39	0	1905	=	1905
26	0	0	0	0	1320	0	0	0	375	129	171	0	0	0	0	0	90	1905	=	1905
27	0	0	0	0	1383	0	0	0	259	0	0	0	0	0	90	173	0	1905	=	1905
28	0	0	0	0	1010	0	0	0	414	129	173	0	0	0	0	178	0	1905	=	1905
29	0	0	0	0	1244	0	0	0	303	0	171	0	0	0	0	187	0	1905	=	1905

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Оптимизированный с помощью математической модели план погрузки и соответствующий план подвода поездов на припортовую станцию Мурманск (эксп.) в феврале 2016 года.

Дорога	День	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5		49	49	109	1905	1905	1905	1905	1905	1905	1905	1905	1905	1905	1905	1332	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8		0	148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9		294	412	0	458	488	0	0	680	731	1857	1857	1797	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10		69	793	173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11		916	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12		402	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

День	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Пр. Изб	Недостаток	Избыток	Сумма	Цел. Ф-я	9	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1905	=	1905
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	21	0	1905	=	1905
3	0	0	0	0	0	0	0	0	294	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
4	0	0	0	0	0	0	0	0	412	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
6	0	0	0	0	0	0	0	148	458	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
7	0	0	0	0	0	0	0	0	488	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	916	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	793	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
10	0	0	0	0	0	0	0	0	680	173	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
11	0	0	0	0	0	0	0	0	731	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
12	0	0	0	0	49	0	0	0	1857	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
13	0	0	0	0	49	0	0	0	1857	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
14	0	0	0	0	109	0	0	0	1797	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
15	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
16	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
17	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
18	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
19	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
20	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
21	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
22	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
23	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
24	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
25	0	0	0	0	1905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905
26	0	0	0	0	1332	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	573	0	1905	=	1905
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	0	1905	=	1905
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	0	1905	=	1905
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1653	252	0	0	0	0	0	0	1905	=	1905

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Фактический план подвода вагонов на припортовую станцию Выборг (эксп.) в феврале 2016 года.

День	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Пр. Изб.	Недостаток	Избыток	Сумма	Цеп. Ф-я	74
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	150	=	150
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	150	=	150
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	150	=	150
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
7	0	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	150	=	150
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	0	0	0	0	81	0	150	=	150
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
19	0	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	150	=	150
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	104	0	150	=	150
23	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	0	150	=	150
24	0	139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	150	=	150
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
27	0	178	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	74	150	=	150
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	76	0	150	=	150
29	0	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	150	=	150

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Оптимизированный с помощью математической модели план погрузки и соответствующий план подвода поездов на припортовую станцию Выборг (эксп.) в феврале 2016 года.

Дорога	День	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		150	150	58	150	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9		69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10		92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

День	1 дорога 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Пр. Изб	Недостаток	Избыток	Сумма	Цел. Ф-я	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	150	=	150
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	150	=	150
3	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	0	0	0	0	81	0	150	=	150
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	150	=	150
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
6	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	=	150
7	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	=	150
8	0	58	0	0	0	0	0	0	0	92	0	0	0	0	0	0	150	=	150
9	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	=	150
10	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98	0	150	=	150
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	=	150
29	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	=	150

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Результаты проведения 10 имитаций алгоритма (2) координации потоков.

Размах срока доставки, дни	8-14	7-16
С координацией, д.е.	6322,2	10107,3
Без координации, д.е.	18149	27940
Снижение, %	<b>65%</b>	<b>64%</b>

С координацией, д.е.	24908,3	12489,9
Без координации, д.е.	45047	28136
Снижение, %	<b>45%</b>	<b>56%</b>

С координацией, д.е.	18626,9	12439
Без координации, д.е.	33945	30496
Снижение, %	<b>45%</b>	<b>59%</b>

Размах срока доставки, дни	8-14	7-16
С координацией, д.е.	14952	4982,1
Без координации, д.е.	33877	23038
Снижение, %	<b>56%</b>	<b>78%</b>

С координацией, д.е.	3737,4	16176
Без координации, д.е.	20981	28752
Снижение, %	<b>82%</b>	<b>44%</b>

<b>Снижение в среднем, %</b>	<b>59%</b>	<b>60%</b>
------------------------------	------------	------------